COURS

DE

MINÉRALOG

(HISTOIRE NATURELLE)

PAR

A. LEYMERIE,

Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

DEUXIÈME ÉDITION.

PREMIERE PARTIE.

PARIS,

VICTOR MASSON ET FILS,

Place de l'Ecole de Médecine, 17.

TOULOU

ÉDOUARD P

Rue des Tourneu

1867

COURS

DE

MINÉRALOGIE.

(HISTOIRE NATURELLE.)

TOULOUSE, IMPRIMERIE DE A. CHAUVIN, RUE MIREPOIX, 3.

COURS

DE

MINÉRALOGIE

(HISTOIRE NATURELLE)

PAR

A. LEYMERIE,

Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

DEUXIÈME ÉDITION.

PREMIÈRE PARTIE.

PARIS,
VICTOR MASSON ET FILS,
Place de l'Ecole de Médecine, 17.

TOULOUSE,
ÉDOUARD PRIVAT,
Rue des Tourneurs, 45.

1867

A MON SAVANT COLLÈGUE ET AMI

M. DELAFOSSE,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS ET AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE,

MEMBRE DE L'INSTITUT,

Le digne collaborateur et continuateur de Haüy,

FAIBLE HOMMAGE DE MA RECONNAISSANCE

POUR LE PRÉCIEUX SECOURS QUE M'ONT OFFERT SES TRAVAUX

Et pour l'accueil sympathique qu'il a bien voulu faire à la première édition de cet ouvrage.

A. LEYMERIE.

PRÉFACE.

« Il fallait réunir et combiner les résultats des deux méthodes (*celles de Werner et de Haüy*). Loin d'être opposées, elles ont absolument le même esprit... L'une et l'autre, sans contester que les espèces ne puissent dépendre, à certains égards, de la composition, les établissent cependant sans consulter la chimie; elles leur supposent, au moins tacitement, un principe d'individualité qui n'est pas inhérent à leur matière. »

(CUVIER, *Eloge de Werner.*)

La minéralogie proprement dite ne date réellement que de Werner, auquel revient également l'honneur d'avoir posé les bases d'une saine géologie. Avant lui, on confondait plus ou moins, sous le nom de *minéralogie*, toutes les sciences qui se rapportent, de près ou de loin, aux êtres dépourvus d'organes que recèlent le sein de la terre. Werner restreignit son objet et son but à la connaissance, à la classification et à la description des minéraux considérés au point de vue de l'histoire naturelle, et voulut même désigner la science ainsi spécialisée par un nom particulier à peu près abandonné aujourd'hui, celui d'*oryctognosie*. Après avoir tracé les limites de cette science, qui devait être pour le règne minéral ce qu'est la botanique pour le règne végétal et la zoologie pour le règne animal, il restait, tout autour de son domaine, plusieurs annexes où il y avait aussi à s'occuper des minéraux, mais à des points de vue différents. Parmi

ces dépendances de la minéralogie proprement dite, Werner distinguait particulièrement la *minéralogie chimique*, qui comprend tout ce qui est relatif à la composition et aux propriétés chimiques des minéraux, la *géognosie* ou la science des roches et des terrains, la *minéralogie géographique* et la *minéralogie économique* (1).

Toutefois, bien qu'il pensât que ces dernières sciences dussent être traitées séparément, il avait soin d'accompagner chacune de ses descriptions oryctognostiques de courtes notions sur la composition et sur les propriétés chimiques des minéraux qui en étaient l'objet, de même qu'il ne négligeait pas non plus d'indiquer leur gisement, les localités qui les offraient bien caractérisées et leurs principaux usages.

C'est à Werner que l'on doit la première délimitation un peu rationnelle des espèces, une nomenclature univoque à laquelle on revient généralement aujourd'hui, et enfin la création d'une langue descriptive d'une grande concision et très-expressive, dont malheureusement l'usage est à peu près perdu. Le couronnement de l'œuvre de Werner est une classification, remarquable par sa simplicité, par sa vérité, et qui peut être regardée comme la plus naturelle qui ait jamais été faite pour le règne minéral.

Werner, dont le sens était si exquis et le jugement si sûr, a vu sa méthode universellement adoptée en Allemagne. Cette préférence n'a pas cessé après sa mort, et l'on sait combien l'école de Freyberg a répandu le goût de la science et qu'elle a formé un grand nombre d'excellents minéralogistes, parmi lesquels se trouvent des hommes très-éminents (2). Cependant cette méthode est restée presque

(1) S'il existait encore, Werner joindrait à ces quatre sciences, annexes de l'oryctognosie, la *minéralogie optique*.

(2) Parmi ces hommes, je citerai de Humboldt, d'Aubuisson, Mohs, de Charpentier, et enfin Léopold de Buch, qui a toujours protesté contre les empiétements de la chimie dans le domaine de l'oryctognosie.

inconnue en France, où le défaut de culture des langues vivantes laisse trop de savants étrangers aux travaux qui se font hors du pays.

Au commencement de ce siècle, un homme d'un grand mérite, un maître, acceptant, pour être utile, le rôle modeste de traducteur, entreprit de nous faire connaître les principes de Werner par un excellent ouvrage où une synonymie soignée et de nombreuses annotations devaient assurer le succès de cette œuvre. Cependant, malgré ces circonstances favorables, malgré la juste confiance qu'inspiraient le mérite et la position de l'auteur, ces principes n'ont pu se répandre parmi nous. L'excellence même des idées wernériennes a été méconnue, ou plutôt n'a pas été sentie. Ce résultat négatif des efforts de Brochant de Villiers tient, sans doute, en partie, à ce que nous avons très-peu, en France, le sentiment de la minéralogie (histoire naturelle), qui est si développé chez les Allemands; mais la principale cause, sans doute, consiste dans l'apparition, à l'époque même où Brochant publiait son ouvrage, du *Traité de minéralogie* de Haüy, dont la méthode a été admise, sans examen, par la seule autorité du savant dont les belles découvertes en cristallographie brillaient alors d'un grand éclat.

La publication du traité de Haüy fit marcher la minéralogie dans une voie essentiellement cristallographique. Sous l'empire de cet illustre maître, la forme cristalline, jusqu'à lui presque négligée ou considérée comme un caractère ordinaire, fut placée au premier rang, celui qu'en effet elle doit réellement occuper. Haüy puisa, dans cette considération, le critérium qui devait lui servir à établir rigoureusement et définitivement les espèces; mais sa méthode, résumée dans une classification généralement suivie tant qu'il a vécu, abandonnée ensuite, est évidemment artificielle, et, dans tout son ouvrage, on trouve plutôt les allures du géomètre et du physicien que celles du naturaliste.

Après la mort de Haüy, la science est entrée dans une phase toute nouvelle où elle se trouve encore aujourd'hui,

et c'est à Berzélius qu'il faut attribuer cette modification profonde. Entraînés par sa puissante influence, les chimistes se crurent autorisés à faire des espèces et des classifications, et les minéralogistes français s'habituèrent peu à peu à voir dans les minéraux, non des êtres naturels dignes d'intéresser par eux-mêmes, mais bien des *substances*, ne considérant leurs caractères physiques que comme des indices jouant à peu près le rôle des étiquettes que l'on place, dans les laboratoires, sur les flacons renfermant les corps que l'on doit faire réagir les uns sur les autres. Dans les derniers temps de sa vie, Haüy eut à lutter contre cet empiétement de la chimie dans la minéralogie et réussit à en ralentir la marche; mais, après lui, personne ne se sentit la force ou le courage de continuer cette lutte, et l'invasion fut consommée.

D'un autre côté, les physiciens qui se sont occupés spécialement des caractères optiques des minéraux et qui ont poussé si loin cet ordre de connaissances, ont voulu partager, avec les chimistes, leur nouvelle conquête. Il y avait eu des classifications chimiques, on voulut aussi classer les minéraux eu égard à la double réfraction et à la polarisation ; on a même proposé la création d'espèces en partant uniquement de ces propriétés (1).

Il résulte de ce court exposé : 1° que la minéralogie, ballottée d'une science à l'autre suivant la prédominance scientifique ou officielle de tel ou tel ordre de savants, n'a jamais été traitée en France réellement au point de vue de l'histoire naturelle (2); 2° que, à l'heure qu'il est, le domaine qui lui avait été assigné par Werner, et que Haüy

(1) Nous citerons le traité de minéralogie de M. Descloiseaux, savant très-estimable, qui a beaucoup ajouté aux connaissances générales et particulières que nous possédions sur l'optique appliquée à la minéralogie.

(2) S'il y avait à faire à cet égard une exception, ce serait en faveur de Romé de l'Isle, qui s'est montré plus naturaliste que ses successeurs. C'est lui qui, le premier, a donné une définition réellement minéralogique de l'espèce et qui a indiqué l'importance relative des différents caractères.

et Brongniart lui avaient à peu près conservé, se trouve envahi et ses limites effacées.

Pendant toute ma carrière minéralogique, qui est assez longue, j'ai vu s'accomplir une partie des transformations que je viens de rappeler d'une manière succincte : j'ai vu les classifications chimiques se succéder, se remplacer, sans qu'aucune ait pu faire loi, le goût de la science se perdre, les collections abandonnées; j'ai vu enfin la minéralogie officiellement rayée du tableau de l'histoire naturelle (1). Je me suis contenté d'abord de déplorer cet état d'anarchie et d'abandon d'une science qui est une des gloires de la France et dont l'étude avait eu pour moi tant de charmes; mais, en 1853, je me décidai à manifester à cet égard mes convictions devant la Société géologique de France, dans un petit écrit intitulé : *Essai d'une méthode éclectique ou wernérienne* (Bulletin de la Soc. géol., 2e série, t. X, p. 207), où je tâchai de rétablir les limites tracées par l'illustre professeur de Freyberg, et de mettre en harmonie le principe wernérien, que je considère comme étant le seul vrai, et les importantes conquêtes que la science a faites depuis Werner sous le rapport de la cristallographie, de la chimie et de l'optique. Cet opuscule n'était qu'un exposé des principes que j'ai adoptés dans le cours que je fais, depuis vingt-cinq ans, à la Faculté des sciences de Toulouse. Ce cours était rédigé à cette époque; mais j'hésitais, malgré les vives sollicitations de mes élèves et de mes amis, à le livrer à l'impression, lorsque, en 1856, je reçus de la rédaction du *Journal des mines* l'invitation de faire paraître mes leçons, dans cet important recueil, articles par articles. Je ne pouvais négliger une occasion si favorable de faire connaître mes idées, et j'avais déjà publié de cette manière quelques feuilles, quand un changement dans l'esprit du journal m'a

---

(1) On sait qu'elle ne figure pas dans le programme des connaissances exigées pour la licence ès sciences naturelles, et qu'elle n'est aucunement représentée dans le programme des deux baccalauréats.

obligé de discontinuer. Mais l'impulsion était donnée, mes hésitations étaient évanouies, et je ne pouvais dès lors me refuser à une publication directe.

Telle est l'origine de l'ouvrage que j'ai fait paraître en 1857. L'accueil que la jeunesse studieuse a bien voulu faire à cette édition et les témoignages si honorables qu'elle m'a valu de la part d'hommes très-éminents dont je devais ambitionner les suffrages (1), m'ont mis dans la nécessité d'en faire une seconde, dans laquelle je me suis efforcé de profiter des progrès récents de la science : c'est celle que j'offre aujourd'hui au public.

En cherchant à replacer la minéralogie au point de vue de l'histoire naturelle et à lui restituer le caractère pratique si propre à rendre son étude facile, agréable et directement utile, je crois n'avoir rien sacrifié du côté scientifique. La cristallographie, véritable base dorénavant de toute minéralogie, y est traitée avec tous les développements nécessaires, et je suis loin d'avoir négligé les résultats utiles que nous devons à la chimie et à la physique. La minéralogie peut être comparée à un fleuve qui s'alimenterait en partie, par l'intermédiaire de canaux, au moyen de plusieurs cours d'eau voisins. Pour naviguer sans péril sur ce fleuve, j'ai évité de trop m'approcher des bords et à plus forte raison de m'engager dans les affluents; j'ai cherché enfin à me maintenir au milieu et à suivre le fil de l'eau.

Bien que je ne me reconnaisse le disciple de personne, et cela ne doit pas étonner, puisque je n'ai jamais suivi aucun cours de minéralogie, je dois dire cependant que mon ouvrage, dans ce qu'il a d'essentiel, comprend une grande partie des principes combinés de l'école de Werner et de

(1) M. Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire notamment a bien voulu manifester son approbation et sa satisfaction dans une lettre que je conserve comme un titre d'honneur. Mon excellent collègue et ami Delafosse a été plus loin encore, en accordant à mon livre des éloges qu'il serait peu convenable de reproduire ici, et en poussant la bienveillance et la générosité, au moment où il s'occupait lui-même d'un ouvrage d'un mérite bien supérieur au mien, jusqu'à le signaler et le recommander à ses auditeurs.

celle de Haüy (voyez l'épigraphe). Aux autres auteurs, je n'ai fait que des emprunts de détail.

En élaguant de la minéralogie les parties appartenant à la chimie et à la physique qui peuvent être regardées comme superflues, je suis parvenu, sans avoir rien sacrifié d'essentiel, à resserrer ce cours dans un espace raisonnable et à le rendre très-abordable pour les étudiants, qui pourront y trouver particulièrement toutes les notions réellement minéralogiques exigées explicitement ou implicitement pour les licences ès sciences physiques et ès sciences naturelles (1). Il se divise en deux parties distinctes, formant chacune un volume in-8° : la première renferme les principes généraux ; la taxonomie et la description des espèces composent la deuxième.

J'ai donné beaucoup de soin à l'exposition, pour laquelle j'ai procédé du facile au difficile, de l'ensemble au détail, de l'ébauche au fini. C'est ainsi qu'avant d'aborder l'étude approfondie de la cristallographie et des caractères essentiels, je donne, sous le titre de *prénotions*, un tableau esquissé de l'ensemble de la science, espèce de vestibule destiné à préparer l'entrée de l'édifice. C'est dans cette partie préliminaire que je tâche d'inspirer au lecteur l'esprit qui doit régner dans la minéralogie proprement dite et que je lui fais connaître les moyens de cette science et le véritable but qu'il faut se proposer en l'étudiant. J'insiste particulièrement sur ce point fondamental, qu'il ne faut pas confondre, ainsi qu'on le fait habituellement, le *minéral* avec la *substance*, celle-ci

(1) Le programme actuel pour la licence ès sciences naturelles, nous l'avons déjà dit, ne mentionne pas la minéralogie ; mais la géologie en fait essentiellement partie. Or, la géologie exige des connaissances réelles et assez étendues sur les espèces minérales, et, d'un autre côté, on sait qu'il est impossible d'avoir, sur un point important d'une science, des notions réelles, si l'on n'a pas une idée générale de l'ensemble. De là, il paraît résulter que la minéralogie (histoire naturelle), l'oryctognosie de Werner, ne doit pas être étrangère aux jeunes gens qui aspirent à la licence dont il s'agit. Comment, d'ailleurs, pourraient-ils être dispensés de cette étude quand ils sont susceptibles d'être appelés, en vertu de leur grade même, à professer la minéralogie conjointement avec la science géologique !

n'étant que la matière avec laquelle la nature a fait le minéral. L'étude de la substance est du ressort de la chimie: la minéralogie ne doit s'occuper que du minéral considéré comme un être revêtu d'une forme qui lui est propre, et de propriétés physiques plus ou moins importantes, et doit se contenter, à l'égard de la chimie, d'enregistrer ses résultats. S'il en était autrement, la minéralogie n'aurait pas de raison d'être, et l'on devrait la considérer, avec Berzélius, comme une *annexe de la chimie.*

Disons maintenant un mot de la composition des deux parties en lesquelles j'ai divisé ce cours, et d'abord de la première, qui contient tous les principes généraux, hormis ceux qui se rapportent à la classification.

En ce qui concerne les caractères, dont la classification et l'étude ont été de ma part l'objet d'un soin particulier, je les divise en trois catégories, basées sur leur importance minéralogique, savoir : les *attributs*, qui comprennent la *substance* et la *forme;* les *caractères essentiels* (1), dont les principaux sont la *densité*, la *dureté* et la *réfraction*, et enfin les *caractères secondaires.*

De quelque côté que l'on envisage la minéralogie, l'étude des cristaux restera toujours la base la plus solide et la plus philosophique des espèces minérales. Aussi, ai-je donné une grande place à cette partie fondamentale, et je n'ai rien négligé pour en faciliter l'accès aux étudiants que cette étude effraie et embarrasse ordinairement. Les beaux mémoires de M. Delafosse sur la symétrie et sur la structure des cristaux m'ont conduit à introduire dans les systèmes cristallins des modifications que j'ai jugées indispensables.

Il n'entrait pas dans mon plan de m'occuper spécialement de la minéralogie chimique; cependant j'ai cru devoir com-

(1) Ces caractères ont vraiment un intérêt hors ligne, ainsi que Romé de l'Isle l'avait fait voir dès 1784, et l'on ne saurait trop regretter que la plupart des auteurs modernes ne leur accordent pas plus d'importance qu'aux caractères appelés par nous secondaires, qui sont loin d'avoir la constance et la généralité des premiers.

mencer l'étude des attributs par un chapitre consacré à la récapitulation des principes et des faits généraux relatifs à la composition des espèces minérales, et dans lequel je cherche à indiquer les limites que la nature s'est imposées dans le nombre et le choix des substances qu'elle a employées.

J'ai donné assez de place aux chapitres des configurations et des structures communes et aux formes et structures accidentelles, parce que des généralités de cette nature ont une utilité incontestable au point de vue pratique. En cela, je n'ai fait que suivre l'exemple de M. Beudant, dont le traité m'a offert beaucoup de faits dont j'ai profité.

Cet ensemble de généralités se trouve complété par un chapitre, qui constitue à peu près une innovation, où je traite succinctement des principaux modes de gisement et de formation des minéraux.

La seconde partie du cours est consacrée à la taxonomie, c'est-à-dire aux principes de la classification, et à la description des espèces. Après avoir passé en revue les principales classifications qui ont été proposées et plus ou moins suivies depuis Werner, je cherche à faire voir les défauts que chacune d'elles présente, et à prouver la nécessité d'une réforme à l'égard de celles qui ont été publiées en France dans ces derniers temps. Je propose enfin une méthode éclectique basée sur celle de Werner. La simplicité un peu vulgaire de cette classification et la subordination du principe chimique aux caractères physiques que j'ai dû y admettre pour les pierres proprement dites, ont pu et pourront encore exciter des répugnances de la part des personnes habituées à voir régner exclusivement la chimie dans les classifications modernes; mais j'ose espérer que celles qui ont le sentiment de l'histoire naturelle ne tarderont pas à secouer ce préjugé, et qu'elles finiront par se ranger à notre manière de voir.

Pour la description des espèces, j'ai puisé à plusieurs sources et surtout dans les ouvrages de M. Dufrénoy et de M. Delafosse, où ce sujet est traité d'une manière très-com-

plète et tout à fait au niveau de la science. Dans un cours destiné à des étudiants, j'ai dû me borner à décrire les espèces plus ou moins importantes. Pour les autres, qui ne sont susceptibles que d'un intérêt de rareté ou de curiosité scientifique, je me suis contenté d'indiquer leurs principaux traits caractéristiques et quelquefois même de les nommer.

Toulouse, ce 1er août 1866.

A. LEYMERIE.

COURS

DE

MINÉRALOGIE.

(HISTOIRE NATURELLE.)

PRÉNOTIONS.

DÉFINITIONS. — GÉNÉRALITÉS.

Qu'est-ce qu'un minéral? — Les corps simples découverts par la chimie et celles de leurs combinaisons que la nature a réalisées constituent la *substance* des minéraux. Mais les minéraux eux-mêmes, objet essentiel de notre étude, doivent être regardés comme résultant de l'admirable emploi que la nature a fait de ces matériaux, sans se servir des forces vitales, les douant de diverses propriétés physiques parmi lesquelles il en est qui ont une constance et une fixité qui permettent l'établissement de types bien déterminés que l'on appelle *espèces*.

Ainsi, *les minéraux sont des substances mises en œuvre par la nature sans l'intervention des forces vitales.*

Il conviendrait aussi peu de confondre un minéral avec sa substance que de voir seulement un bloc de marbre dans une belle statue ou un monceau de pierres dans un somptueux édifice. Le minéralogiste ne devra donc pas considérer simplement comme de la *silice* ces beaux prismes pyramidés limpides qui représentent, sous le nom particulier de *cristal de roche*, l'espèce *quartz* dans son état le plus parfait, et il lui répugnerait d'assimiler au carbone

le *diamant*, cette pierre si précieuse, en laquelle la nature s'est plu à rassembler toutes les perfections (1).

Puisque nous devons en minéralogie voir dans les minéraux, non des substances, mais bien des êtres revêtus de propriétés physiques qui les caractérisent, il est indispensable de désigner ces êtres naturels par des noms particuliers. Tels sont ceux de *quartz* et de *diamant* ci-dessus employés. Tout minéral porte ainsi un nom univoque dont il faut se servir exclusivement, à moins que l'on ait à parler de sa substance, auquel cas seulement il convient de faire usage de la nomenclature chimique.

Caractères minéralogiques. — Les considérations précédentes n'ont pas pour but d'amoindrir l'importance de la notion relative à la substance des minéraux. Cette notion est indispensable et tout à fait fondamentale, ainsi que nous le verrons plus loin. Mais nous pensons que le minéralogiste doit laisser au chimiste les recherches et les expériences qui s'y rapportent, et qu'il n'a autre chose à faire à cet égard que d'en prendre connaissance et de les enregistrer. Ses études doivent porter presque exclusivement sur les propriétés physiques. Ces propriétés elles-mêmes, dont la nature a revêtu les substances minérales pour en faire les minéraux proprement dits, n'ont pas toutes la même importance au point de vue de l'histoire naturelle. Il en est qui n'ont qu'un intérêt purement scientifique; il n'y a presque pas lieu de s'en occuper en minéralogie. Les autres, qui seules contribuent directement à la connaissance et à la reconnaissance des minéraux, doivent être étudiées avec soin: on les appelle particulièrement *caractères minéralogiques*.

Parmi ces caractères il en est qui ont une constance et une généralité très-grandes et qui sont intimement liés à l'existence même des minéraux. Le plus fondamental est la *forme cristalline*; viennent ensuite la *densité* et la *dureté*.

---

(1) Cette manière de considérer les minéraux devrait exclure de la minéralogie certaines matières terreuses que l'on rencontre quelquefois dans le sein de la terre. Ces matières, que la nature semble avoir laissées sans emploi, ne sont guère, en effet, susceptibles d'intéresser que par leur composition. Toutefois, ce sont des corps naturels, et le minéralogiste doit chercher à les rattacher à des types caractérisés. Il y réussit le plus souvent par l'emploi de quelques propriétés chimiques très-simples.

Type minéralogique. — Un minéral dont la substance est pure, et qui se présente revêtu de la forme cristalline *fondamentale* (nous verrons bientôt ce qu'il faut entendre par ce mot), offre aussi une densité et une dureté fixes et déterminées. Ce minéral, à l'état parfait, est à la minéralogie ce qu'est la fleur à la botanique. Nous l'appellerons particulièrement *type minéralogique,* et de même qu'au végétal caractérisé par sa fleur se rattachent, par les autres organes ou caractères, beaucoup d'individus non fleuris, soit entiers, soit mutilés, de même, autour du type minéralogique, viendront se grouper des minéraux cristallisés ou non, ayant les mêmes caractères essentiels.

C'est ainsi qu'à la galène cristallisée en cube, qui sera pour nous le type du minéral portant ce nom, nous joindrons la galène octaédrique, dodécaédrique, et les morceaux lamellaires, compactes, etc., qui, par l'ensemble de leurs caractères, se rapportent à cette espèce. De même le calcaire transparent, sous la forme du rhomboèdre de 105°, ne sera que le chef de file, pour ainsi dire, d'une longue série d'individus cristallisés sous d'autres formes ou concrétionnés, et d'échantillons à structure laminaire, aciculaire, compacte, etc.

Minéralogie; son but, ses moyens. — Le but de la *minéralogie* proprement dite, que Werner désignait particulièrement sous le nom de *oryctognosie* (ὀρυκτόν, minéral; γνῶσις, connaissance), est d'étudier et de classer les *types minéralogiques* et les minéraux plus ou moins imparfaits qui s'y rattachent. Cette étude doit être faite au point de vue de l'histoire naturelle, c'est-à-dire sous le rapport des propriétés physiques qui caractérisent immédiatement cette catégorie de corps naturels, en se basant plutôt sur l'observation que sur l'expérience, et n'employant d'autres instruments que les organes des sens (1).

La minéralogie, telle que nous venons de la caractériser, complète l'histoire naturelle d'une manière tout à fait convenable, en laissant le champ libre aux dérivations ou extensions qui constituent la *minéralogie chimique* et la *minéralogie optique.*

---

(1) La minéralogie n'exclut pas toutefois quelques instruments qui peuvent servir à étendre et à fortifier la puissance des sens ou à préciser les impressions qu'ils perçoivent (loupe, goniomètre, balance); elle emprunte aussi à la chimie quelques-uns de ses moyens les plus simples, comme l'action du chalumeau et celle des acides.

Quant à l'utilité de la minéralogie proprement dite et au secours qu'elle peut fournir aux sciences physiques, je ne pense pas que personne veuille les contester, et il serait inutile d'entrer à cet égard dans de grands détails. Je me contenterai de rappeler que l'histoire naturelle des minéraux est la source où viennent incessamment puiser le physicien, et surtout le chimiste auquel, dans la plupart des cas, le minéralogiste indique les corps où il y a quelque chose d'intéressant à reconnaître ou à découvrir. On sait, au reste, que la minéralogie est le point de départ de cet ensemble de connaissances qui composent la science spéciale du mineur, et que c'est à elle que nous devons réellement la première indication des métaux utiles. Il est même des sciences qui relèvent directement d'elle seule. C'est la minéralogie qui fournit au géologue les moyens de caractériser et de classer les roches qui entrent dans la composition des terrains. Ce sont les caractères minéralogiques qui éclairent l'architecte et l'ingénieur dans le choix des matériaux qui peuvent plus ou moins convenir pour tel ou tel genre de construction. Enfin, l'art du lapidaire tout entier repose sur la connaissance des propriétés des minéraux, et uniquement sur celles que considère le minéralogiste pur.

Nécessité de l'exercice des sens; utilité des collections. — Ces généralités permettent déjà d'entrevoir que, dans l'étude de la minéralogie, il ne suffit pas de mettre en eu l'intelligence, et que les sens doivent y prendre une bonne part. Il est très-utile même de commencer par voir, toucher, soupeser, casser des minéraux, afin de se former d'avance une provision d'impressions que les facultés purement intellectuelles viendront ensuite apprécier, comparer et réduire en principes. Je ne saurais donc trop recommander aux personnes qui débutent dans la carrière, de ne négliger aucune occasion de se livrer, dès l'origine, à cet exercice sans lequel la plupart des généralités données par les auteurs resteraient simplement des phrases que leur mémoire pourrait retenir, mais qui ne représenteraient rien de vrai dans leur esprit. Pour arriver à des connaissances réelles en minéralogie, il faut non-seulement visiter les collections publiques, mais encore se procurer un certain nombre d'échantillons que l'on puisse livrer à l'observation de la vue, du toucher, du goût, de l'odorat.

Les collections offrent, en effet, un puissant moyen de faire

arriver à l'esprit, par le canal des sens, des impressions qui se résoudront plus tard en idées réelles et positives, bases solides de toute bonne généralisation. Les personnes qui veulent devenir minéralogistes doivent chercher à se procurer ce moyen d'étude si efficace. Quelque peu nombreux qu'ils soient dans l'origine, des minéraux bien caractérisés, rangés dans un ordre naturel, offrent une ressource précieuse à celui qui les possède et qui les a toujours sous la main; il éprouve un véritable plaisir à les voir, à les étudier à diverses reprises, à en augmenter le nombre, afin de combler peu à peu les principales lacunes qu'ils laissent entre eux.

Sans doute, de belles suites d'oiseaux, de mammifères, de coquilles, d'insectes... peuvent, au premier aspect, flatter la vue plus que des collections de minéraux, il faut en convenir; mais celles-ci ont bien aussi leur charme et l'emportent même sur les précédentes à beaucoup d'égards. Elles prennent bien moins de place; coûtent peu; il est plus aisé de se les procurer et de les compléter; leur entretien est incomparablement plus facile.

L'avantage qui résulte de la possession d'une collection minéralogique ne se borne pas, d'ailleurs, à la satisfaction de l'œil. Chacun des morceaux qui la composent est susceptible d'une foule d'observations et même d'expériences intéressantes sous le rapport de la cristallographie, de l'optique, de l'électricité, de la densité, de la dureté et même au point de vue chimique. C'est une bibliothèque composée de livres écrits par la nature elle-même, et toujours ouverts, dont la vue est agréable et que l'on consulte toujours avec plaisir et avec fruit, sans jamais en avoir achevé la lecture.

CARACTÈRES CRISTALLOGRAPHIQUES.

Constitution moléculaire des minéraux. — Il est admis que tous les corps sont composés de molécules infiniment petites, impalpables, qu'il est impossible de subdiviser physiquement : ce sont les molécules de la substance, qu'on pourra appeler molécules *physiques* ou *chaotiques*. Or, dans toutes les circonstances où ces molécules, considérées dans un corps donné, peuvent être mises en contact à une température convenable, étant libres de se mouvoir et de se tourner sans être gênées ou troublées par aucune cause étrangère, elles se portent les unes vers les autres et se groupent de manière à former de nouvelles mo-

lécules, égales entre elles, qu'on nomme *intégrantes* ou *cristallines*.

Les molécules chaotiques, dernier terme de la division physique d'un corps quelconque, peuvent être supposées sphériques; car c'est cette forme qu'affectent les corps toutes les fois que leurs dernières particules n'ont à obéir qu'à l'attraction qu'elles exercent naturellement les unes sur les autres (gouttes de mercure, d'eau, de suif, de matières pierreuses ou métalliques fondues). Mais l'observation indique, pour les molécules intégrantes, ainsi que nous le verrons bientôt, la forme de polyèdres plus ou moins réguliers ou symétriques, très-simples, qui, en s'agrégeant eux-mêmes d'une manière régulière, donnent naissance, en définitive, à des masses palpables douées également de formes géométriques fixes et déterminées qu'on appelle *cristaux*. Ce dernier nom entraîne nécessairement avec lui l'idée d'une matière cristallisée, et il ne faut pas le confondre avec la dénomination de *forme cristalline*, qui représente seulement l'ensemble des faces par lesquelles le cristal est limité dans l'espace.

La molécule cristalline doit être considérée comme l'élément immédiat du cristal. La molécule physique est l'élément de la substance dans quelque état qu'elle se trouve, fût-elle même terreuse ou gélatineuse, comme il arrive ordinairement dans les précipités chimiques. Elle précède l'acte de la cristallisation, tandis que la molécule cristalline en est le premier résultat (1).

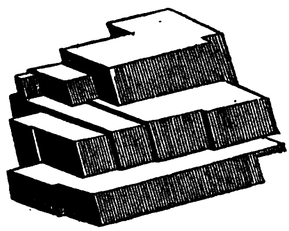
Structure régulière; clivage. — La régularité et l'admirable symétrie que la nature a mises dans la formation des cristaux ne s'arrête pas à la surface extérieure, et les faces géométriques, dont celle-ci est composée, ne sont qu'un effet spécial de l'agrégation régulière des molécules cristallines. L'effet général consiste dans une structure intérieure toute géométrique, qui existe, non-seulement dans les cristaux, mais encore au sein de masses cristallines qui n'offrent à l'extérieur qu'une forme commune. Il est facile de mettre d'ailleurs *à posteriori* cette régularité interne en évidence par le *clivage*.

---

(1) Cette manière de concevoir la constitution moléculaire des minéraux est conforme aux idées émises par M. Delafosse dans son important Mémoire sur les systèmes cristallins. Elle est, comme on le voit, très-simple et suffit néanmoins à tous les besoins de la minéralogie.

On désigne par ce nom une opération qui permet de diviser un cristal ou une masse cristalline en fragments polyédriques réguliers, ou d'y opérer une espèce de dissection en détachant, dans plusieurs sens fixes et déterminés pour chaque minéral, des lames parallèles et miroitantes, qui laissent bientôt arriver jusqu'à un noyau intérieur d'une forme géométrique très-simple, identique à la forme cristalline extérieure, ou qui du moins offre avec elle des rapports extrêmement étroits. Ce noyau lui-même, et les lames enlevées successivement pour le découvrir, pourraient se diviser en des polyèdres de même forme, mais de plus en plus petits, et il est facile de voir que le résultat final de cette espèce de dissection, si nos sens et nos instruments étaient assez parfaits pour nous permettre de l'atteindre, serait la *molécule cristalline* ou *intégrante.*

Le clivage est plus ou moins facile suivant les minéraux, et, dans chaque minéral, suivant le sens. Ainsi le simple choc du marteau suffit pour réduire la galène en fragments cubiques, et le spath calcaire (*fig.* 1) en rhomboèdres de 105°.


Fig. 1.

Dans le gypse cristallisé, on peut enlever dans un sens avec la plus grande facilité, au moyen d'un couteau, des lames plus ou moins étendues ; dans deux autres directions, la division peut encore se faire, mais moins facilement.

Il est des minéraux qu'on ne réussit à cliver que par des moyens particuliers; quelques-uns même, comme le quartz, résistent presque absolument au clivage.

Etat cristallin. — Nous venons de dire qu'un minéral peut avoir reçu de la cristallisation une structure régulière, sans offrir à l'extérieur des faces géométriques. On dit alors que le minéral est à *l'état cristallin,* le nom de *cristal* étant exclusivement réservé pour le minéral revêtu d'une forme cristalline régulière.

L'état de cristal ou simplement l'état cristallin, auquel on peut amener beaucoup de corps artificiellement, est le plus sûr indice de l'individualité et de la pureté; aussi emploie-t-on fréquemment la cristallisation, dans les laboratoires et dans les usines, pour

séparer les corps facilement cristallisables, les sels particulièrement, et pour les débarrasser des mélanges ou des impuretés qui en masquaient les caractères spécifiques (fabrication du sel marin, du nitre, de l'alun, de la couperose; raffinage du sucre, etc.).

Forme primitive; forme secondaire. — On doit admettre, ainsi que nous l'avons déjà dit, que tout minéral est susceptible de cristalliser et de se présenter sous des formes régulières, de même que, dans l'immense majorité des cas, tout végétal peut fleurir. Or, tandis qu'une plante déterminée ne donne qu'une espèce de fleur caractérisée par sa forme générale et par le nombre et la disposition de ses parties essentielles, chaque minéral peut offrir plusieurs formes très-différentes. Hâtons-nous de dire que ces formes, qui sont très-nombreuses chez certaines espèces, loin d'être étrangères les unes aux autres, se trouvent au contraire liées par des rapports très-étroits qui permettent de les faire dériver de l'une d'entre elles choisie parmi les plus simples.

Cette dernière forme, résume en elle seule toute la symétrie dont le minéral cristallisé est susceptible, et constitue le caractère le plus saillant du type minéralogique. C'est elle qui est tout particulièrement comparable à la fleur des végétaux; on lui donne le nom de *forme primitive* ou *fondamentale,* parce que les autres ne sont à son égard que des formes déduites ou *secondaires.*

Dans chaque minéral, la forme primitive est constante et déterminée en genre et en espèce, c'est-à-dire non-seulement dans sa figure générale, mais encore dans la valeur des angles dièdres que ses faces forment entre elles et même dans leurs dimensions; de telle sorte que, si plusieurs minéraux affectent le même genre de formes, celles-ci diffèrent nécessairement par leurs angles ou, lorsqu'il s'agit de prismes, par le rapport de la base à la hauteur (1).

Le rhomboèdre, par exemple, est une forme primitive commune à plusieurs espèces minérales, le *calcaire,* le *quartz*, l'*oligiste;* mais ce polyèdre est particularisé dans chacun de ces minéraux par l'angle des faces culminantes. En effet, cet angle est de 105°

(1) On connaît cependant à cette règle une exception remarquable. Elle est offerte par les minéraux revêtus de formes régulières susceptibles d'être dérivées du cube. Cette dernière forme, par exemple, est fondamentale à la fois pour la *galène* et pour le *sel marin.* Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

pour le premier minéral, de 94° dans le deuxième, de 86° dans le troisième. Comme exemples de minéraux prismatiques relativement auxquels le principe semblerait se trouver en défaut, nous citerons l'*émeraude* et la *pyromorphite*, qui l'une et l'autre ont pour forme primitive un prisme hexaèdre régulier. Ces prismes ont nécessairement les mêmes angles, mais ils doivent être considérés comme ayant, pour une même base, des hauteurs différentes. Ainsi dans le prisme de l'émeraude, la hauteur égale le côté de la base, tandis que, pour l'autre espèce, ces dimensions sont entre elles comme 7 est à 10.

La forme primitive doit toujours être une forme simple; elle se détermine par des considérations cristallographiques de différents genres. Il faut choisir autant que possible celle qui est donnée par le clivage; car c'est évidemment cette forme que la nature indique plus particulièrement. Romé de l'Isle, le premier, a introduit dans la minéralogie l'idée fondamentale de la forme primitive et des formes secondaires.

Constance des angles. — C'est encore à Romé de l'Isle que l'on doit le principe de la constance des angles, qui doit être considéré comme une dépendance du précédent. Ce principe établit que, dans tous les cristaux d'un même minéral, les faces homologues doivent former rigoureusement les mêmes angles. Ainsi pour le calcaire et le quartz que nous avons cités, en tout temps et en tous lieux, dans un cristal simple comme dans un cristal composé, les faces primitives seront inclinées l'une sur l'autre de 105° pour la première espèce, et de 94° pour la seconde ni plus ni moins.

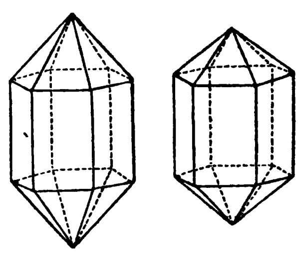


Fig. 2. Fig. 3.

Cette fixité dans les angles de la forme fondamentale entraîne celle des formes secondaires. Dans la forme la plus habituelle du quartz, par exemple, les faces du prisme (*fig.* 2) font toujours avec celles de la pyramide un angle de 141° $^1/_2$; tandis que dans l'*apatite*, des cristaux du même genre de forme (*fig.* 3) offrent habituellement pour les faces que nous venons de désigner, un angle de 130°.

SUBORDINATION ET CLASSIFICATION DES CARACTÈRES.

En général, la forme primitive et la composition chimique marchent ensemble dans les minéraux, de telle sorte qu'à une substance déterminée en qualité et en quantité correspond une forme primitive également déterminée en genre et en espèce. (Nous verrons cependant, en traitant de l'*isomorphie* et de l'*isomérie,* que cette règle peut souffrir quelques exceptions). Il résulte de là que le caractère tiré de la forme est susceptible de remplacer, jusqu'à un certain point, pour les minéraux déjà connus, la connaissance de la composition chimique. Aussi se sert-on souvent de ce moyen si rapide pour éviter des analyses souvent très-longues et toujours plus ou moins pénibles. Les chimistes l'emploient notamment avec un grand avantage pour caractériser les corps nouveaux qu'ils rencontrent dans leurs réactions.

Ces deux propriétés équivalentes des minéraux ont une importance hors ligne et constituent réellement les conditions d'existence de tout minéral. Aussi croyons-nous convenable de les désigner par un nom particulier, celui d'*attribut.*

La condition fondamentale d'avoir la même substance et la même forme primitive, c'est-à-dire les mêmes attributs, entraîne avec elle un degré de cohésion fixe entre les molécules des minéraux, d'où résultent la propriété de peser également sous le même volume et celle de résister à peu près au même degré à un corps qui chercherait à les rayer ou à les entamer. On conçoit, en effet, qu'il en doit être ainsi pour les minéraux cristallins qui sont formés de molécules identiques et assemblées de la même manière. Pour les masses amorphes à textures variées, l'observation prouve que les modifications subies par ces propriétés restent resserrées entre des limites très-étroites.

La *densité* et la *dureté* (1) sont donc attachées aux propriétés

(1) Dans cet aperçu tout élémentaire, je n'ai pas cru devoir mentionner la *double réfraction* à laquelle la plupart des auteurs attachent une grande importance. J'en traiterai au chapitre des caractères essentiels et je donnerai alors les motifs qui m'ont déterminé à ne pas mettre cette propriété sur la même ligne que la densité et la dureté.

les plus fondamentales, aux attributs des minéraux et peuvent les suppléer au besoin. Leur emploi est très-utile dans la caractérisation et la détermination des morceaux qui n'offrent à l'extérieur ni à l'intérieur aucune forme déterminable. Ce sont réellement des caractères *essentiels*, et nous emploierons dorénavant cette expression pour les désigner.

Après ces caractères, auxquels on pourrait peut-être joindre aussi la *fusibilité*, viennent les *caractères secondaires*, ceux qui méritent particulièrement le nom d'*extérieurs*, parce qu'ils se manifestent immédiatement aux sens. Ceux-ci n'ont pas la généralité, la fixité ni la constance des premiers : ils ne sont donc pas aussi importants au point de vue philosophique ; mais, sous le rapport pratique, ils offrent une très-grande utilité. D'abord ils sont indispensables dans la description des espèces, et leur emploi suffit pour permettre au minéralogiste exercé de rapporter un minéral donné à son type, ou au moins pour le mettre sur la voie de cette détermination.

En mettant à part les *configurations et structures communes* et *accidentelles* et la *cassure* qui forment un ordre de choses particulier, les principaux caractères secondaires sont : la *couleur*, l'*éclat*, la *transparence*, la *pesanteur* et l'*impression* sur le sens du *toucher*, l'*odeur*, la *saveur*, l'action du *barreau aimanté*, auxquels il faut ajouter la *solubilité*, l'action du *feu* et celle des *acides*, empruntées à la catégorie des caractères chimiques.

Les caractères des minéraux peuvent donc être répartis dans trois groupes, savoir :

Les attributs ;
Les caractères essentiels ;
Les caractères secondaires.

L'objet le plus important qui se présente lorsqu'on entre dans le domaine de la minéralogie, est l'étude de ces trois ordres de caractères qui forment la base de la connaissance des minéraux, de leur détermination et de leur classification.

Nous suivrons naturellement, dans cette étude, l'ordre d'importance qui vient d'être indiqué.

ATTRIBUTS.

DE LA SUBSTANCE.

Les considérations relatives à la substance ou, en d'autres termes, à la composition chimique des minéraux, appartiennent à la chimie. Nous n'aurions donc pas, à la rigueur, à nous en occuper dans cet ouvrage. Nous avons pensé toutefois qu'il était convenable d'offrir ici, au début de nos études purement minéralogiques, un résumé des principaux résultats et des principes généraux de la chimie qui se rapportent directement à notre sujet.

Ce résumé, où nous avons cherché à rassembler et à grouper toutes les notions générales de chimie qu'il est nécessaire d'avoir présentes à l'esprit en étudiant l'histoire naturelle des minéraux, aura d'ailleurs l'avantage de dispenser nos lecteurs d'aller chercher ces notions dans les traités de chimie générale, où elles sont plus ou moins disséminées, et confondues, d'ailleurs, avec d'autres parties de la science qui n'intéressent pas aussi directement le règne minéral.

DES ÉLÉMENTS ET DE LEURS COMBINAISONS.

Eléments chimiques des minéraux. — Les anciens distinguaient dans l'univers quatre grands éléments : la *terre*, l'*air*, l'*eau* et le *feu*.

Le feu n'est pas une matière : on peut le considérer comme un fluide impondérable dont l'étude est du ressort de la physique ; restent donc la terre, l'eau et l'air. Ces deux derniers ont été regardés comme élémentaires jusqu'à la fin du siècle précédent, où l'on est parvenu à décomposer chacun en deux principes gazeux. On sait depuis longtemps que la terre est un corps très-composé, et à l'époque si brillante pour la chimie que nous venons de rappeler, on reconnaissait, dans les matières solides qui constituent notre planète, un assez grand nombre de substances différentes : la *silice*, l'*alumine*, la *chaux*, le *soufre*, l'*arsenic* et la plupart des métaux utiles.

Plus tard, H. Davy est venu montrer que les plus essentiels de ces matériaux terrestres, savoir : la *silice*, les *terres* et les *alcalis*,

étaient eux-mêmes composés d'oxygène et d'un radical spécial pour chacun d'eux. Par toutes ces découvertes et par celles de divers chimistes qui ont marché sur les traces de Davy, le nombre des éléments, c'est-à-dire des corps considérés comme indécomposables, s'est trouvé fort augmenté. Déjà, en 1820, il atteignait *cinquante*, et maintenant il s'élève à *soixante-cinq*. Ce nombre variera certainement encore par la suite; nonobstant, nous devons admettre, dans l'état actuel de la science, que c'est avec ces soixante-cinq matières ou substances simples que sont composés non-seulement tous les minéraux, mais même tous les corps de la nature.

Nous donnons ici, dans l'ordre alphabétique, la liste de ces substances élémentaires :

1 Aluminium.	23 Glucinium.	45 Potassium.
2 Antimoine.	24 Hydrogène.	46 Rhodium.
3 Argent.	25 Ilménium.	47 Rubidium.
4 Arsenic.	26 Indium.	48 Ruthénium.
5 Azote.	27 Iode.	49 Sélénium.
6 Baryum.	28 Iridium.	50 Silicium,
7 Bismuth.	29 Lanthane.	51 Sodium.
8 Bore.	30 Lithium.	52 Soufre.
9 Brome.	31 Magnésium.	53 Strontium.
10 Cadmium.	32 Manganèse.	54 Tantale.
11 Calcium.	33 Mercure.	55 Tellure.
12 Carbone.	34 Molybdène.	56 Thallium.
13 Cérium.	35 Nickel.	57 Thorium.
14 Césium.	36 Niobium.	58 Titane.
15 Chlore.	37 Or.	59 Tungstène.
16 Chrome.	38 Osmium.	60 Uranium.
17 Cobalt.	39 Oxygène.	61 Vanadium.
18 Cuivre.	40 Palladium.	62 Wasium.
19 Didymium.	41 Pélopium.	63 Yttrium.
20 Etain.	42 Phosphore.	64 Zinc.
21 Fer.	43 Platine.	65 Zirconium.
22 Fluor.	44 Plomb.	

Sur le nombre de combinaisons réalisées par la nature. — Tous les minéraux résultent donc, sous le rapport chimique, de la combinaison une à une, deux à deux, trois à trois, etc., de ces soixante-cinq éléments.

Or, si l'on cherchait le nombre possible de ces combinaisons, on arriverait à un chiffre considérable, qu'il faudrait encore aug-

menter d'après la considération que les mêmes éléments combinés en plusieurs proportions peuvent donner des produits différents. Mais la nature ne paraît avoir réalisé qu'une bien petite partie de ces combinaisons possibles, puisque le nombre des espèces connues ayant une composition essentiellement différente, ne s'élève guère qu'à *cinq cents*. Dans les laboratoires où l'on s'ingénie à faire naître incessamment de nouveaux composés en faisant varier les corps mis en présence et les circonstances capables de les déterminer à réagir les uns sur les autres, on est parvenu à dépasser considérablement ce nombre ; toutefois, on est resté et l'on restera toujours bien loin de celui qui est indiqué par le calcul. Cela tient, d'une part, à ce que l'on ne peut jamais parvenir à faire entrer dans une combinaison qu'un nombre d'éléments très-limité, et que, d'autre part, tous les corps ne sont pas susceptibles de s'unir indifféremment entre eux, la nature les ayant doués de sympathies et d'antipathies spéciales en vertu desquelles les uns ont une tendance à se combiner, tandis que d'autres s'y refusent absolument.

Division des éléments en minéralisateurs et minéralisables. — Nous offrirons ci-après au lecteur un aperçu des principaux effets des affinités et des lois qui les régissent ; mais il est essentiel d'indiquer dès à présent les deux catégories en lesquelles se partagent les éléments considérés à ce point de vue pour ainsi dire sentimental.

Nous dirons d'abord, avec un certain empressement, que, parmi les soixante-cinq substances élémentaires dont nous avons donné ci-dessus la liste complète, il n'en est que quarante-six tout au plus qu'on puisse regarder comme essentielles en minéralogie ; les autres ne constituent que quelques espèces rares et sans intérêt, ou n'entrent dans la composition de minéraux plus importants que d'une manière tout à fait accessoire.

Or, si l'on étudie comparativement la manière d'être de ces quarante-six corps et leur mode d'action réciproque, on verra que certains d'entre eux se montrent dans un grand nombre de composés et qu'ils semblent chercher incessamment à se combiner avec les autres, ceux-ci, par rapport aux premiers, jouant pour ainsi dire un rôle passif. Il y a donc lieu d'établir dans les corps élémentaires deux catégories ou *genres* jusqu'à un certain point comparables aux sexes du monde organique.

Les éléments *actifs* ou *mâles* sont beaucoup moins nombreux, mais, en revanche, bien plus fréquents que les autres. Le principal est l'*oxygène ;* après lui viennent le *soufre* et l'*arsenic* (1). Il est bon d'avertir, d'ailleurs, que ces deux tendances des éléments n'ont rien d'absolu ; un corps qui joue le rôle actif dans un composé devant être regardé comme passif dans un autre et réciproquement. Il n'y a réellement qu'un corps simple absolument actif : c'est l'*oxygène.*

Les substances actives des combinaisons naturelles ont été instinctivement désignées dans des ouvrages anciens par le nom de *minéralisateurs*, et les corps passifs (radicaux ou bases) par le nom de *minéralisables.* Nous adopterons ces dénominations très-convenables en minéralogie, d'autant plus qu'elles expriment simplement un fait qui restera vrai malgré les variations des théories chimiques. Elles correspondent aux expressions *électro-négatif* et *électro-positif* de la théorie électro-chimique proposée par Berzélius.

Nous avons puisé dans cette considération la base d'une classification des quarante-six corps élémentaires essentiels du règne minéral ; nous la donnons dans le tableau suivant :

TABLEAU DES ÉLÉMENTS ESSENTIELS DES MINÉRAUX.

NOMBRE 46.

Minéralisateur absolu.

Oxygène.

Minéralisateurs relatifs non métalliques.

Radicaux des acides.

Solides ou gazeux. Les solides sont peu pesants, à l'exception de l'arsenic et du tellure ; aigres.

+ Soufre.	S = 200	+ Tellure.	T = 806.5
+ Arsenic.	As = 468.75	Phosphore.	P = 200

---

(1) L'oxygène entre dans quatre cents espèces minérales sur cinq cents que la minéralogie possède, et le soufre dans quatre-vingts environ, métalliques pour la plupart. Le nombre des combinaisons arsenicales ne s'élève qu'à trente-quatre, dont vingt-six métalliques. Il existe en outre quelques composés à la formation desquels concourent à la fois le soufre et l'arsenic.

+ Carbone.	C = 75	Bore.	B = 136.15
Silicium (1).	Si = 266.7		
Chlore.	Cl = 443.2	Azote.	Az = 175
Fluor.	Fl = 239.8	Hydrogène.	H = 12.50

Minéralisables.

1° Métalloïdes, radicaux des terres et des alcalis.

Solides *peu pesants*, (2) éclatants à l'état de régule ; en général ductiles; fortement engagés dans leurs combinaisons avec l'oxygène ; oxydes ternes, la plupart terreux.

Des alcalis :

Potassium.	K = 490	Lithium.	Li = 80.37
Sodium.	Na = 287.2		

Des terres alcalines :

Magnésium.	Mg = 151.3	Strontium.	Sr = 548
Calcium.	Ca = 250	Baryum.	Ba = 858

Des terres :

Aluminium.	Al = 170.98	Zirconium.	Zr = 420
Glucinium.	Gl = 87.06	Yttrium.	Yt = 402.31

2° Métaux.

Solides (sauf le mercure), *pesants*, éclatants et colorés, même dans leurs combinaisons, la plupart ductiles ; formant des oxydes plus ou moins réductibles et souvent doués d'un vif éclat.

Cérium	Ce = 575	Tungstène.	W = 1188.4
		Uranium.	U = 750
+ Antimoine.	Sb = 806.5	Chrome.	Cr = 328
+ Bismuth.	Bi = 1330	Nickel.	Ni = 369.7
Etain.	Sn = 735.3	Cobalt.	Co = 369
+ Plomb.	Pb = 1294.5	+ Cuivre.	Cu = 395.6
Zinc.	Zn = 406.6	+ Mercure.	Hg = 1250
+ Fer.	Fe = 350	+ Argent.	Ag = 1350
Manganèse.	Mn = 344.7	+ Or.	Au = 1227.8
Tantale.	Ta = 1148.36	+ Platine.	Pt = 1232
Titane.	Ti = 314.7	Iridium.	Ir = 1233.2
Molybdène.	Mo = 598.5	+ Palladium.	Pd = 665.2

Nota. Les éléments marqués du signe + sont ceux qui se trouvent immédiatement dans la nature.

(1) En plaçant le silicium parmi les minéralisateurs, nous avons satisfait les convenances de la chimie. Au point de vue minéralogique, nous aurions été conduit à le considérer comme un élément minéralisable, la nature ne l'ayant employé que dans la formation de la silice où il joue le rôle passif. La même observation s'applique en partie à l'hydrogène et à l'azote.

(2) Le thallium, qui a été récemment découvert et qui se trouve en petite quantité dans

Aperçu des principales combinaisons naturelles. — Nous avons déjà dit que la nature n'admettait dans la composition des minéraux qu'un très-petit nombre d'éléments pour chacun d'eux. Nous savons, en effet, par les résultats de l'analyse, que ce nombre est : *un* (minéraux simples), *deux* (composés binaires), *trois* (ternaires), *quatre* (quaternaires)... Il y a encore un certain nombre de composés de cinq et six éléments. On pourrait même citer des minéraux renfermant sept à huit substances ; mais cette complexité exceptionnelle résulte, dans presque tous les cas, de substitutions isomorphiques.

Voyons maintenant comment les affinités très-variables, souvent nulles, des corps les uns pour les autres réduisent le nombre de ces combinaisons au point de ne constituer que cinq cents types environ.

Quatorze corps simples seulement se présentent comme minéraux naturels, ou, comme on le dit, à l'état natif (1). Voici leurs noms :

Soufre.	Fer
Arsenic.	Cuivre.
Carbone.	Mercure.
Tellure.	Argent.
Antimoine.	Or.
Bismuth.	Platine.
Plomb.	Palladium.

Parmi les composés binaires, il faut distinguer ceux qui résultent de la combinaison d'un vrai métal avec les minéralisateurs comme l'oxygène, le soufre, l'arsenic. Ceux-ci se trouvent fréquemment dans la nature. La plupart des métaux, en effet, fournissent un ou plusieurs *oxydes* et au moins un *sulfure*, un *arséniure* et même un *chlorure*. Il y a aussi des *arsénio-sulfures*.

---

certaines pyrites, vient ici constituer une exception analogue à celle de l'arsenic et du tellure que nous avons ci-dessus indiquée pour les minéralisateurs. En effet, ce métalloïde, très-voisin du potassium par l'ensemble de ses propriétés, est en même temps aussi lourd que le plomb.

(1) Parmi ces corps, ceux qu'on rencontre le plus rarement à l'état pur sont le plomb et le fer, chose singulière si l'on considère l'abondance de ces métaux obtenus artificiellement et le fréquent usage qu'on en fait, et si l'on se rappelle, d'un autre côté, que le second est quelquefois tombé des espaces célestes en masses cousidérables.

Nous n'avons pas compris dans cette liste quatre éléments gazeux, l'azote, l'hydrogène, l'oxygène et le chlore, qui se dégagent dans quelques circonstances accidentelles ou passagères.

Pour ceux dont le radical est un quasi-métal ou *métalloïde* (1), comme le potassium, le calcium..., on peut dire qu'il n'en est aucun, si ce n'est l'alumine (oxyde d'aluminium), qui se rencontre comme minéral naturel (2); et on n'en est pas étonné si l'on se rappelle que presque tous ces corps sont plus ou moins solubles.

Il nous reste à considérer les combinaisons binaires des minéralisateurs entre eux. Ces composés consistent, pour la plupart, en des *andrides* (acides des chimistes), parmi lesquels se trouvent des *acides*. Ces andrides se présentent rarement à l'état libre. Cependant nous pouvons en citer un, la *silice*, qui, sous le nom de *quartz*, constitue une espèce minérale très-remarquable en elle-même, et très-importante pour le rôle qu'elle joue en géognosie.

Presque tous les composés ternaires sont produits par la combinaison d'un andride et d'une base, et constituent ce que l'on nomme en chimie des *sels* (3) (*halites* dans notre méthode). Les seuls un

---

(1) Berzélius a donné ce nom de *métalloïde*, on ne sait en vérité pourquoi, aux corps simples non métalliques, comme le *soufre*, l'*azote*, l'*hydrogène*, dont la propriété générale la plus saillante est de n'avoir aucun rapport avec les métaux. On a vu dans notre tableau des éléments essentiels que nous nous servons de ce mot pour désigner les radicaux des terres et des alcalis que les chimistes confondent avec les véritables métaux. Nous employons aussi le nom d'*haloïde* autrement que l'a fait Berzélius, en nous appuyant cette fois de l'autorité de Mohs, qui est le véritable créateur de ce mot.

(2) Il faudrait encore citer la magnésie s'il se confirmait que le minéral, très-rare du reste, qu'on appelle *périclase*, en est exclusivement composé.

(3) Le mot *sel*, tel qu'il est employé par les chimistes, est un exemple bien saillant de l'inconvénient de détourner, pour servir une science, un mot de sa signification vulgaire. On a été conduit par les progrès de la chimie à nommer *sels* des corps pierreux ou métalliques comme le *calcaire*, la *sidérose*, l'*émeraude*..., et à retirer ce nom au *sel marin*, le sel par excellence, celui pour lequel ce mot avait été pour ainsi dire créé.

Les convenances de la minéralogie proprement dite, et particulièrement celles de la classification wernérienne que nous proposerons plus tard, nous mettent dans l'obligation de restituer au mot *sel* son sens primitif. Dès lors il est indispensable de créer un nom pour désigner généralement le résultat de la combinaison d'un acide et d'une base. Nous adoptons celui de *halite*, dérivé du mot grec ἅλς, qui veut dire sel. Ce nom s'applique d'ailleurs à toutes les combinaisons ternaires dont il s'agit, dans lesquelles nous distinguons toutefois deux catégories, savoir : 1° les *sels*, composés solubles et sapides, parmi lesquels nous admettons les chlorures alcalins; 2° les *haloïdes*, qui ne diffèrent des précédents que par leur insolubilité (calcaire, barytine, fluorine).

C'est par des motifs semblables que nous remplaçons ici le nom d'acide par celui d'*andride* (ἀνδρός, homme, mâle) pour représenter les minéralisateurs oxygénés qui s'unissent aux bases pour former les halites. Le mot *acide* peut alors reprendre son acception ordi-

peu fréquents, parmi ceux où il entre un acide proprement dit, sont les *sulfates* et les *carbonates*. Ces derniers particulièrement constituent des espèces très-importantes (calcaire, dolomie, sidérose). On peut citer après eux les *phosphates* et les *arséniates*.

Nous rattachons à cette catégorie les composés binaires des radicaux métalloïdes avec le chlore et avec le fluor (haloïdes de Berzélius) que l'on considérait autrefois comme des hydrochlorates et des hydrofluates (sel marin, fluorine). Nous y annexons également les *hydrates* qui résultent de la combinaison d'un oxyde terreux avec l'eau.

La silice joue le rôle d'andride dans les combinaisons qu'on appelle *silicates*. Ces composés sont donc des espèces d'halites. Néanmoins ils se trouvent séparés dans notre méthode des sels et des haloïdes. Quoi qu'il en soit, on doit voir dans les silicates l'élément fondamental des minéraux pierreux. On peut citer après eux les *aluminates* qui constituent plusieurs espèces remarquables.

Il y a peu de silicates simples dans la nature (staurotide, disthène); mais les silicates doubles sont très-nombreux et forment la base des principales pierres (feldspath, amphibole, pyroxène); il faut leur joindre quelques *silico-aluminates*. Il y a aussi un certain nombre de doubles silicates hydratés (zéolites) et des triples silicates (1).

Les composés à quatre, à cinq ou à six éléments, qui ne dépendent pas de cette catégorie des silicates, sont rares relativement. Quant aux minéraux plus compliqués, ils ne sont ni assez nombreux ni assez importants pour entrer en ligne de compte dans cet aperçu général.

LOIS QUI RÉGISSENT LES COMBINAISONS.

Occupons-nous maintenant des lois qui régissent les combinai-

---

naire et reste disponible et très-convenable pour les andrides ayant une saveur acide et agissant d'une manière plus ou moins sensible sur la teinture de tournesol.

Nous recommandons à la bienveillante attention des chimistes ce moyen peu onéreux de rétablir l'harmonie, dans une partie importante de la nomenclature, entre le langage de la chimie et celui du monde physique.

(1) Les silicates simples ou multiples constituent un tiers au moins des espèces minérales. Ils sont tous pierreux, à l'exception d'une dizaine que l'on peut considérer comme des minéraux métalliques.

sons. Un mot d'abord sur la manière de concevoir la constitution des composés.

Nous avons distingué deux catégories dans les corps qui entrent en combinaison pour former les minéraux. Dans la première se trouvent les corps actifs; la seconde se compose des corps passifs. Chaque composé binaire doit être considéré comme résultant de la combinaison d'un corps de la première sorte avec un corps de la seconde. Ces composés eux-mêmes peuvent se combiner aussi les uns avec les autres en nombre généralement très-peu considérable, mais toujours de telle manière que le résultat définitif puisse être toujours décomposé en deux parties, dont l'une serait active ou minéralisante, et l'autre passive ou minéralisée, ou en termes très-peu nombreux, dont chacun serait susceptible d'une semblable décomposition. D'après M. Berzélius, ce mode d'agrégation *binaire* ou *sexuel* est caractéristique des corps inorganiques, les organiques offrant des assemblages *ternaires* ou *quaternaires* que les corps bruts ne présentent jamais.

1re Loi. — Proportions définies. — Lorsque nous mettons dans l'eau une certaine quantité d'un sel quelconque, le sel marin, par exemple, nous voyons ce corps se désagréger peu à peu et diminuer de volume. Ses molécules physiques s'interposent alors entre celles du liquide, où elles deviennent invisibles, comme si elles s'étaient liquéfiées elles-mêmes, et s'y mélangent d'une manière si intime que la liqueur, après l'action, est aussi claire et aussi homogène qu'auparavant et persistera telle, à moins que quelque cause étrangère, comme l'évaporation ou une action chimique, ne vienne compliquer et troubler le phénomène : on a alors une *dissolution*. L'expérience prouve que l'eau peut dissoudre des quantités indéterminées de sel, pourvu toutefois que ces quantités ne dépassent pas un maximum auquel correspond ce que l'on nomme le point de saturation.

Cette indétermination dans les quantités de sel marin ou de tout autre sel qui entrent dans les dissolutions, et que l'on retrouve dans les mélanges homogènes de métaux fondus qu'on appelle *alliages*, pourrait faire croire que, dans la combinaison de deux corps, la quantité relative des poids est une chose très-variable et presque indifférente. Il n'en est rien cependant, et, pour un même minéral, ce rapport doit être considéré, au contraire, comme étant fixe et

invariable. Ainsi, dans la galène, qui est composée de sulfure de plomb, il y a constamment, pour 100 de minéral, 13,5 de soufre et 86,5 de plomb. Dans le calcaire pur, l'analyse donne toujours 43,71 d'acide carbonique et 56,29 de chaux. De quelque localité que viennent les échantillons analysés, quelque variés que soient les circonstances et les moyens employés pour faire l'analyse, si le minéral est pur, les résultats obtenus seront toujours les mêmes. Généralement, tous les minéraux doivent être considérés, ainsi que la galène et le calcaire, comme ayant une composition fixe et déterminée, et les éléments qui les constituent sont en *proportion définie*. Cette fixité dans la composition chimique d'un même minéral correspond à la constance de l'angle du solide de clivage ou de la forme primitive.

Nous devons ajouter toutefois que, pour les composés dans lesquels la silice, l'alumine, l'eau, jouent le rôle d'andride, les analyses ne donnent pas toujours des rapports absolument nets, état de choses qui paraît tenir au peu d'activité, je dirai même à un certain degré d'indifférence des corps que nous venons de nommer. Cette faible énergie permet, une fois les proportions définies satisfaites, qu'une portion vienne à se dissoudre dans le composé, sans qu'il en résulte d'altération bien marquée dans les propriétés physiques; elle pourrait aussi entraîner une différence en moins. Cette partie de la chimie des minéraux aurait besoin d'être reprise et soumise à l'épreuve d'une critique sévère et impartiale.

2e Loi. — Proportions multiples. — Dans le plus grand nombre des cas, les substances élémentaires ne se combinent qu'une fois et ne donnent lieu qu'à un seul composé. Cependant il arrive aussi que la combinaison des mêmes éléments se fait en plusieurs proportions pour produire des minéraux distincts, circonstance que nous avions éliminée, pour plus de simplicité, dans les considérations précédentes. Dans ce cas, non-seulement les proportions sont définies pour chaque composé, mais encore, si, dans les combinaisons qui admettent les mêmes éléments, on considère comme fixe le poids de l'un d'eux, du corps minéralisé, je suppose, les quantités de l'autre élément seront entre elles dans un rapport extrêmement simple et parfaitement déterminé, ordinairement celui de 1 à 2, 3, 4, ou de 2 à 3.

Prenons pour exemple la *zigueline* et la *mélaconise*, dont la

substance est, pour l'une comme pour l'autre, un oxyde de cuivre, mais avec des quantités d'oxygène différentes, et qui se distinguent d'ailleurs très-nettement par leurs caractères minéralogiques. Voici les résultats immédiats de l'analyse de ces minéraux :

Zigueline (cuivre oxydé rouge)	Oxygène.	11,22
	Cuivre.	88,78
Mélaconise (oxyde noir terreux).	Oxygène.	20,17
	Cuivre.	79,83

Sous cette forme, les chiffres comparés ne montrent, au premier aspect, aucun rapport remarquable ; mais, si l'on cherche par la règle de trois la quantité d'oxygène qui, dans la mélaconise, correspondrait à 88,78, poids du cuivre contenu dans le premier oxyde, on a :

$$79{,}83 : 20{,}17 :: 88{,}78 : x,$$

d'où $x = 22{,}43$, nombre double de 11,22, qui représente l'oxygène de la zigueline : d'où il faut conclure qu'il y a réellement deux fois autant d'oxygène dans le second oxyde que dans le premier.

La nature offre également deux minéraux : le *réalgar* et l'*orpiment*, qui sont composés de soufre et d'arsenic ; mais, pour un même poids de cette dernière substance, la quantité de soufre du premier minéral est à celle du second dans le rapport de 2 à 3.

La même règle s'applique aux combinaisons dont les éléments sont eux-mêmes composés, et principalement aux halites. Ainsi, l'on fait dans les laboratoires deux sulfates de potasse. Eh bien ! l'un contient deux fois autant d'acide que l'autre pour une même quantité d'alcali.

3e Loi. — Une autre loi très-remarquable régit les combinaisons ternaires dont les éléments ont un principe minéralisateur commun et principalement les *halites*. Cette loi consiste en ce que les quantités pondérales de cet élément commun (l'oxygène pour les halites), dans les deux parties du composé, sont entre elles dans un rapport très-simple qui, dans la plupart des cas, est encore celui de 1 à 1, à 2, à 3.

Supposons qu'il s'agisse de la barytine, dont la substance est un sulfate de baryte :

Analyse brute.		Oxygène.	Rapport.
Acide sulfurique	34,37	20,57	3
Baryte	65,63	6,85	1

Ces résultats mettent en évidence ce fait que la quantité d'oxygène contenue dans l'acide d'un poids quelconque de barytine est exactement triple de celle que renferme la baryte. Il en serait de même pour la célestine, pour l'epsomite, et généralement pour tous les sels ou haloïdes qui ont pour minéralisateur l'acide sulfurique. Le rapport serait celui de 1 à 2 pour le calcaire, pour la witherite et pour tous les autres carbonates naturels.

Pour exemple d'un composé dont les éléments ne seraient pas des halites, nous citerons la bournonite, minéral dont la substance offre trois sulfures ayant pour base le plomb, le cuivre et l'antimoine, et contenant chacun exactement la même quantité de soufre.

NOMENCLATURE CHIMIQUE.

La connaissance préalable de ces lois était nécessaire pour faire comprendre au lecteur l'esprit et les avantages de la nomenclature chimique. On emploie encore celle qui avait été établie en 1787 par une commission de l'Académie des sciences lors de la révolution que les découvertes de Lavoisier firent faire à la chimie, avec quelques perfectionnements que la découverte des lois précédentes rendaient indispensables.

La considération de l'oxygène et du rôle si important qu'il joue dans les composés domine dans ce système.

En minéralogie il n'y a lieu de considérer, dans les *acides* ou *andrides*, que ceux qui résultent de la combinaison d'un radical minéralisateur et de l'oxygène. Le nom de chacun d'eux en particulier s'obtient en terminant en *ique* le nom de son radical (acide sulfurique, carbonique)... Quelquefois le même radical donne lieu à deux acides. Dans ce cas, le nom du plus oxygéné se forme comme nous venons de le dire, et celui qui renferme le moins d'oxygène se distingue par la terminaison *eux* (acide sulfurique, acide sulfureux). Pour les chimistes, ce moyen est devenu insuffisant, à cause du nombre plus considérable d'acides qu'un même radical peut former (le soufre en forme sept); mais il suffit au minéralogiste.

Le nom d'*oxyde,* qui conviendrait à la rigueur à toute combinaison d'un élément quelconque avec l'oxygène, doit être exclusivement appliqué aux composés binaires oxygénés qui jouent le rôle de base. Pour les divers oxydes qu'un même radical peut donner en se combinant avec différentes proportions d'oxygène, on a créé des mots qui expriment les quantités relatives de ce corps, quantités qui se réduisent toujours, ainsi que nous l'avons vu, à des nombres très-simples. L'oxyde que l'on peut regarder comme renfermant une proportion d'oxygène (on le découvre facilement par la théorie des équivalents), s'appelle *protoxyde* ou *monoxyde ;* celui qui contient deux proportions de ce corps prend le nom de *deutoxyde* ou *bioxyde ;* on nomme *sesquioxyde* le composé dont la quantité d'oxygène peut être représentée par $^3/_2$. On emploie fréquemment le nom de *peroxyde* pour désigner la combinaison la plus oxygénée, quelle que soit la quantité d'oxygène qui s'y trouve contenue (1).

Pour les composés binaires où il n'entre pas d'oxygène, le moyen de nomenclature est très-simple : il consiste à réunir les noms des deux éléments en terminant en *ure* celui du corps minéralisateur, qui doit toujours être placé en première ligne ; exemples : *sulfure de fer, arséniure de cobalt...* S'il y a plusieurs composés ayant les mêmes éléments, on les désigne d'une manière analogue à celle employée pour les oxydes ; ainsi on dit *monosulfure, bisulfure, sesquisulfure...* lorsqu'un sulfure contient une proportion ou deux proportions, ou $^3/_2$ proportions de soufre pour une de radical.

La nomenclature des *halites* (sels et haloïdes) est très-simple. On compose le nom de ces corps des noms de l'acide et de la base qui les constituent, en se servant de la terminaison *ate* pour les halites dont l'acide est le plus oxygéné, et de la terminaison *ite* pour les autres. Les divers degrés d'oxydation des bases donnent lieu à des noms composés qui indiquent cet état d'oxydation ;

---

(1) Parmi les oxydes, il faut distingner les *oxydes métalliques* (aimant, zigueline) et ceux des métalloïdes. Ces derniers se divisent en *oxydes terreux* constituant la base des terres (alumine, zircone), *alcalins* (potasse, soude) et *alcalino-terreux* (chaux, baryte). Les oxydes des deux dernières catégories ont une saveur urineuse caractéristique et agissent sur les matières colorantes végétales d'une manière en quelque sorte contraire à celle des acides ; elles ramènent notamment au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide, et verdissent le sirop de violette.

exemples : *sulfate de protoxyde de fer, sulfate de sesquioxyde.* On peut avoir des halites *neutres,* des halites à plusieurs proportions d'acide, et d'autres avec excès de base. Ces diverses modifications se désignent par les syllabes *proto, deuto* ou *bi,* ou *sesqui, sous;* ainsi on dit : *protosulfate, deutosulfate* ou *bisulfate, sesquisulfate, soussulfate.*

L'eau et la silice jouent le rôle d'andride dans les combinaisons que l'on devra appeler, conformément à la règle précédente, *hydrates, silicates.*

On aura remarqué sans doute que, dans tous les cas que nous avons considérés ci-dessus, le nom du corps actif ou minéralisateur occupe la première place ; c'est lui qui indique le genre des composés, tandis que l'élément minéralisé détermine l'espèce (1).

ÉQUIVALENTS. — ATOMES.

Equivalents ou nombres proportionnels. — Toutes les combinaisons, ainsi que nous l'avons vu plus haut, sont censées se faire en proportions bien définies. Il résulte de là que si l'on prenait un poids fixe d'un élément minéralisateur commun à de nombreux composés binaires, et l'on ne saurait mieux faire dans ce cas que d'adopter l'oxygène, les poids des corps minéralisés par cet élément seraient également fixes, ainsi que ceux des composés eux-mêmes. Supposons donc que l'on inscrive dans une liste ou série les nombres qui représentent ces poids fixes, on formerait ainsi une table, analogue par exemple à celle des poids spécifiques, et qui pourrait être fort utile en ce qu'elle indiquerait d'une manière permanente l'analyse et la synthèse d'un composé oxygéné binaire quelconque.

Or, la table que nous venons de supposer existe. On y a pris pour base un poids d'oxygène représenté par 100, et les nombres qui la composent expriment des poids qui équivalent par con-

(1) Ces noms chimiques d'ailleurs ne doivent être employés que pour désigner la substance qui constitue les minéraux. Pour les minéraux eux-mêmes, il faut toujours se servir, ainsi que nous l'avons déjà dit plus haut, des noms univoques qui ont été spécialement créés pour les représenter comme êtres naturels. Lorsque nous traiterons de la taxonomie, nous verrons que cette manière d'agir est la seule conforme aux vrais principes de la philosophie minéralogique.

séquent à 100 d'oxygène. Aussi les appelle-t-on *équivalents* ou *nombres proportionnels*.

Il est essentiel de prévenir que, dans le cas où l'oxygène formerait, en se combinant avec le même élément, plusieurs composés qui devraient obéir nécessairement à la loi des proportions multiples, il conviendrait d'adopter pour la recherche de l'équivalent de cet élément celui de ces composés qui est le moins oxygéné. Ainsi, dans le cas du soufre, qui peut se combiner en proportions différentes avec l'oxygène, on se servirait de l'acide hyposulfureux, et pour le fer et le cuivre, on aurait recours aux protoxydes de ces métaux.

Maintenant, chose fort remarquable, non-seulement ces quantités pondérales des corps simples inscrits dans cette liste correspondent à 100 d'oxygène, dans les combinaisons binaires les plus simples qu'elles forment avec ce minéralisateur, mais encore elles sont équivalentes entre elles. Ainsi, c'est 200 de soufre qui se combinerait avec 395,6 de cuivre ou avec 1294,5 de plomb, et ce dernier nombre exprime aussi le poids de plomb qui s'unirait à 443,2 de chlore pour former un chlorure. Ainsi les quantités pondérales des corps élémentaires qui se combinent avec 100 d'oxygène représentent en même temps les poids de ces mêmes corps qui s'uniraient entre eux pour former les composés les plus simples (1).

Ayant une fois les nombres équivalents des corps élémentaires, il est facile de se procurer ceux des composés binaires, pourvu que l'on connaisse toutefois la quantité relative des composants et le nombre d'équivalents que ces quantités représentent. Il suffit, dans ce cas, d'ajouter les nombres proportionnels de ces derniers, soit intacts, soit multipliés par un nombre, toujours très-simple, que l'analyse aura indiqué.

Dans le cas où l'on sait d'avance combien les nombres fournis par l'analyse représentent d'équivalents, il n'y a aucune difficulté; ainsi il nous a été facile, en ajoutant 100 aux équivalents des corps qui composent notre petit tableau (page 15), d'obtenir les équi-

(1) Cette remarque nous indique le moyen de trouver les équivalents des corps élémentaires qui n'existeraient pas en combinaison avec l'oxygène. Supposons, par exemple, que l'on ne connaisse pas l'oxyde de plomb, on pourrait néanmoins obtenir l'équivalent de ce métal, en se servant d'une autre combinaison, comme le sulfure. Mais, dans ce cas, il faudrait prendre pour terme fixe l'équivalent du soufre, qui est 200.

valents inscrits dans la dernière colonne; mais on n'a pas toujours cette notion. Supposons qu'elle nous manque, par exemple, pour la galène, voici les opérations fort simples qu'il y aurait à faire pour l'acquérir :

	Analyse en 100es.	Equivalents.	Quotients (1).	Rapport.
Soufre	13,5	200	0,067	1
Plomb	86,5	1294,5	0,067	1

Il s'agit de savoir si dans la galène il y a un ou plusieurs équivalents de soufre et de plomb. Pour le soufre d'abord, je n'aurai qu'à diviser 13,5, poids que donne l'analyse, par 200 qui représente l'équivalent de ce corps. J'obtiens ainsi 0,067 qui exprime le nombre d'équivalents du soufre contenu dans la galène.

Une opération toute semblable exécutée pour le plomb donne aussi 0,067 ; d'où il est facile de conclure que, dans la galène, le soufre et le plomb sont équivalent à équivalent, et qu'il suffira par conséquent d'ajouter tout simplement les nombres connus de ces composants pour avoir l'équivalent du composé, qui sera 1494,5.

Pour la silice, on aurait :

	Analyse en 100es.	Equivalents.	Quotients.	Rapport.
Oxygène	52,94	100	0,529	3
Silicium	47,06	266,7	0,176	1

d'où l'on voit qu'il entre dans ce composé trois équivalents d'oxygène pour un de silicium, et que l'équivalent de la silice doit être 566,7, résultat de l'addition de 266,7, équivalent du silicium avec 300, triple de celui de l'oxygène. On trouverait de même que, pour l'alumine, il faut doubler le nombre de l'aluminium et l'ajouter au triple de l'équivalent d'oxygène, ce qui conduirait à 542.

Les composés ternaires n'offriraient pas plus de difficultés. Ainsi, pour le calcaire, dans la composition duquel il entre un équivalent de chaux et un équivalent d'acide carbonique, on obtiendrait 625 en calculant séparément les équivalents de ces deux éléments binaires, puis ajoutant le premier au second.

(1) Les quotients qui composent cette colonne ne sont que des fractions insignifiantes par elles-mêmes et qui n'acquièrent de l'expression que dans le moment où on les considère comme les termes d'un rapport qui est toujours simple, ainsi qu'on peut le voir dans nos exemples.

Pour le gypse, il faudrait réunir l'équivalent de l'acide sulfurique à celui de la chaux, et joindre encore à la somme le double d'un équivalent d'eau.

Théorie atomique. — Des nombres proportionnels à la théorie des atomes il n'y a qu'un pas facile à franchir. En effet, tout ce que nous venons de dire est indépendant de la masse du composé que l'on considère. Ainsi, dans une particule impalpable de galène ou de silice, les quantités relatives de soufre et de plomb d'une part, d'oxygène et de silicium d'une autre, sont rigoureusement les mêmes que dans les échantillons les plus volumineux, et l'on est conduit à penser que, pour les molécules indivisibles, il en doit être ainsi.

On arrive de la sorte à supposer que, dans la combinaison de deux corps, les atomes se groupent un à un, deux à deux... suivant les cas, et se neutralisent de manière à produire les atomes composés ou molécules physiques dont l'agglomération constitue les masses homogènes qui nous sont offertes immédiatement par l'expérience ou par l'observation. Si les choses ne se passent pas ainsi, au moins est-ce la manière la plus simple et la plus claire de les concevoir. Ainsi, nous savons que la galène est composée d'un équivalent de soufre et d'un équivalent de plomb. Dès lors, n'est-il pas naturel de penser que chaque molécule du composé est formée par la combinaison de deux atomes élémentaires, l'un de soufre et l'autre de plomb, et par suite que les nombres équivalents de ces deux corps ne sont autres que les poids relatifs de leurs atomes ? Dans le quartz, qui contient trois équivalents d'oxygène contre un de silicium, on admettrait, par les mêmes motifs, que chaque molécule est composée d'un atome de silicium dont le poids serait exprimé par le nombre équivalent déjà donné pour ce corps, et de trois atomes d'oxygène dont chacun pèserait 100, nombre équivalent de ce gaz élémentaire.

Il résulte de là que la table des nombres proportionnels ou équivalents est en même temps la table des poids atomiques, le nombre 100 étant alors considéré comme représentant le poids d'un atome d'oxygène (1).

---

(1) Cette identité entre les équivalents et les poids atomiques peut souffrir cependant des

Il est bien entendu, d'ailleurs, que ces nombres, pas plus que les équivalents, n'ont rien d'absolu et n'expriment que des poids relatifs.

En général, on voit que la théorie atomique suppose que les corps se combinent atomes à atomes, de manière que dans chaque atome du composé il entre un petit nombre déterminé et constant d'atomes élémentaires, et les lois de rationalité veulent, au moins dans le règne inorganique dont nous nous occupons exclusivement ici, que le rapport entre ces nombres d'atomes élémentaires soit toujours très-simple, et que, dans un très-grand nombre de cas, l'un de ces nombres soit un faible multiple de l'autre.

Les atomes binaires, qui résultent de la réunion d'atomes simples, deviennent eux-mêmes des atomes élémentaires relativement les uns aux autres, et se comportent absolument comme nous venons de l'expliquer pour les corps simples.

Utilité des considérations atomiques dans l'interprétation des analyses. — Les relations atomiques, outre l'intérêt qu'elles présentent sous le rapport théorique, sont encore très-précieuses dans la pratique pour faire jaillir, des chiffres fournis par l'analyse, des rapports importants qui, sans elles, seraient restés inaperçus. Nous trouvons, dans la comparaison de l'*orpiment* avec le *réalgar*, minéraux déjà cités page 22, un exemple bien propre à mettre en lumière cet avantage des considérations atomiques.

Les analyses de ces corps, tant qu'elles restent sous la forme ordinaire, ne disent rien à l'esprit ; aussi, en l'absence de la forme cristalline de l'orpiment, Haüy, n'ayant, comme moyen de spécification fondamental, que le caractère tiré de la substance, avait-il réuni ces deux minéraux dans la même espèce, considérant leur différence de couleur comme un caractère de variété. Mais si l'on introduit dans la question les considérations atomiques, il en résulte immédiatement une différence claire et caractéristique.

Pour le faire voir, prenons les analyses brutes de ces deux sulfures d'arsenic, et après avoir exécuté des calculs atomiques tout

---

exceptions, dans le cas surtout où l'on considère la combinaison de deux gaz ; mais ce cas ne se présente guère en minéralogie, si ce n'est peut-être pour l'eau.

à fait semblables à ceux que nous avons expliqués plus haut, mettons encore ici tous les résultats en regard :

		Analyse en 100es.	Nombres d'atomes.	Rapport.
Réalgar (rouge)	Soufre.	30,43	0,152	1
	Arsenic.	69,57	0,148	1
Orpiment (jaune)	Soufre.	38,14	0,190	$^3/_2$
	Arsenic.	61,86	0,132	1

La seconde colonne résulte de la division des nombres de la première par 200 pour le soufre et par 468,75 pour l'arsenic ; elle représente par conséquent le nombre d'atomes de soufre et d'arsenic qui entrent dans la composition des deux sulfures. Or, si l'on compare ces nombres atomiques dans le réalgar, on voit qu'ils sont à peu près égaux, tandis que pour l'orpiment ils sont sensiblement dans le rapport de 3 à 2; on peut donc en conclure que ces corps, dont les propriétés physiques sont d'ailleurs assez différentes, constituent deux espèces distinctes, résultat qu'est venue confirmer récemment la découverte de l'orpiment à l'état cristallisé.

Cet exemple suffit pour faire entrevoir toute l'influence qu'a dû avoir la théorie atomique sur la manière d'indiquer les résultats de l'analyse des minéraux. Avant la découverte de cette théorie, on se bornait à donner en centièmes les quantités des éléments fournis immédiatement par la manipulation chimique. Maintenant on ne s'en tient pas à cette simple indication, on cherche, par les moyens que nous avons indiqués, les relations atomiques des résultats de l'analyse, et on les traduit en formule, ainsi que nous le ferons ci-après.

Souvent, comme dans les exemples qui précèdent, les chiffres donnés par l'expérience se prêtent bien à ce calcul; d'autres fois, il suffit de corriger légèrement ces chiffres pour les rendre expressifs, et l'on met alors sur le compte du chimiste les petites quantités de matières qu'on avait été obligé de supprimer ou d'ajouter pour satisfaire aux exigences de la théorie. Enfin, lorsque ces quantités sont trop considérables pour qu'on puisse se permettre de les négliger, on suppose que le minéral analysé n'était pas pur et qu'il contenait, à l'état de mélange, un ou plusieurs corps étrangers dont la théorie parvient quelquefois à reconnaître la nature et la quantité.

La plupart des analyses rentrent dans l'un ou l'autre de ces derniers cas. Pour donner un exemple du deuxième, nous citerons, d'après M. Dufrénoy, l'analyse d'un calcaire de Souillac (Lot), qui a donné à ce savant minéralogiste :

Acide carbonique	35,41
Chaux	45,59
Argile	15,40
Oxyde de fer	3,60
	100,00

Les caractères extérieurs indiquent d'ailleurs que cette pierre est bien un calcaire, et que l'argile et l'oxyde de fer qu'elle renferme s'y trouvent à l'état de mélange. Mais, quand bien même la minéralogie ne fournirait pas cette notion, on pourrait l'acquérir par les considérations atomiques. En effet, le calcaire le plus pur que l'on connaisse est composé de la manière suivante :

Acide carbonique	43,71
Chaux	56,29
	100,00

dans lequel il entre un atome d'acide carbonique et un atome de chaux. Or, la même relation existe entre l'acide carbonique et la chaux de la pierre de Souillac. On pourrait s'en assurer, soit en divisant le nombre 35,41, qui représente la quantité du premier élément, par le poids atomique de l'acide carbonique, et 45,59 par le poids de l'atome de chaux, ou encore en cherchant les quantités d'oxygène contenues dans ces deux éléments binaires; mais on arrivera plus vite au but en posant et vérifiant la proportion suivante :

$$43{,}71 : 56{,}29 :: 35{,}41 : 45{,}59.$$

Dans cet exemple, le mélange était si évident qu'il était impossible de le méconnaître; mais, dans la plupart des cas, l'espèce de départ que nous venons d'indiquer est loin d'être aussi facile, et très-souvent, lorsque les caractères minéralogiques ne parlent pas assez clairement, on doit renoncer à démêler les véritables relations du minéral. Je signale, au reste, cette difficulté comme une cause d'erreurs que n'ont pas toujours évitée les minéralogis-

tes qui accordent aux caractères chimiques une importance exagérée et presque exclusive. J'ajouterai qu'il faut bien se garder, d'ailleurs, de tirer trop tôt des conséquences de la symétrie qu'offrent certaines analyses, et ne pas perdre de vue que les résultats de la chimie ne doivent entrer dans la minéralogie qu'après avoir été contrôlés par les propriétés physiques et surtout, toutes les fois que cela est possible, par la considération de la forme.

Substitutions isomorphiques. — Des nombreuses analyses de minéraux qui ont été faites dans ces derniers temps, il semble résulter que des substances de même groupement atomique, ayant un principe commun, peuvent souvent se substituer les unes aux autres en quantités équivalentes, sans que cette substitution entraîne aucune altération essentielle dans l'ensemble des propriétés du minéral. Cette remarque s'applique principalement aux oxydes ayant le même nombre d'atomes d'oxygène, qui jouent le rôle de bases dans les halites, et il est intéressant de voir que les corps qui ont une tendance à se substituer ainsi sont justement ceux qui se rapprochent par des caractères physiques analogues, et qui, lorsqu'il sont susceptibles de cristalliser, se présentent sous des formes du même genre et d'une espèce très-voisine; de là le nom d'*isomorphie* (ἴσος égal : μορφή forme) donné à cette propriété par M. Mitscherlich, qui l'a fait connaître le premier (1). Nous citerons comme exemples de bases isomorphes : la chaux (1 atome de calcium + 1 d'oxygène), la magnésie (1 magnésium + 1 oxygène) et le protoxyde de fer (1 de fer + 1 d'oxygène); la potasse et la soude; l'alumine (2 aluminium + 3 oxygène) et le sesquioxyde de fer (2 fer + 3 oxygène) (2). Il y a aussi des acides isomorphes, comme l'acide phosphorique et l'acide arsénique.

Enfin, les halites, qui résultent de la combinaison de bases isomorphiques avec un même acide, sont fréquemment eux-mêmes

(1) L'expression de *plésiomorphie* (πλησίος, voisin; μορφή, forme) conviendrait mieux ici, le mot *isomorphie*, dont le sens est trop absolu dans le cas qui nous occupe, pourrait être alors réservé pour les minéraux du système régulier qui ont identiquement la même forme avec une composition différente (sel marin, galène).

(2) Ces deux derniers corps constituent deux minéraux naturels, le *corindon* et l'*oligiste*, que l'on trouve l'un et l'autre cristallisés sous forme de rhomboèdres presque identiques par leurs angles.

susceptibles de se remplacer en quantités équivalentes. Ainsi, l'on trouve, parmi les halites naturels, une série de carbonates cristallisant tous en rhomboèdres dont les angles ne diffèrent entre eux que d'un à deux degrés tout au plus, et qui s'associent chimiquement, dans beaucoup de cas, de manière à donner naissance à des mélanges, laissant dominer l'un d'eux qui détermine alors l'espèce. Dans le calcaire, par exemple, dont la substance type est le carbonate de chaux, l'analyse démontre souvent la présence de quantités plus ou moins considérables de carbonate de magnésie et de carbonate de fer.

Ces substitutions se font ailleurs en proportions indéterminées, mais toujours en quantités équivalentes, et ne donnent pas lieu à un changement d'espèce quand elles restent au-dessous de certaines limites.

Cette propriété est sans doute très-importante et a éclairé la chimie des minéraux d'une vive lumière; mais les faits qui ont servi à l'établir ne sont pas assez nombreux ni assez incontestables pour qu'on puisse encore l'ériger en principe général.

FORMULES CHIMIQUES.

Symboles et formules. — Ayant reconnu, à l'aide des conceptions atomiques, des rapports simples entre les quantités pondérales des éléments, il fallait un moyen de peindre aux yeux ces rapports d'une manière claire et rapide. Ce moyen a été donné par Berzélius. Il consiste, comme on le sait, en un système de symboles combinés dont le mécanisme est très-simple et facile à saisir.

Les corps élémentaires sont désignés, dans ces formules, par les initiales majuscules de leurs noms latins. Toutefois, lorsque les noms de plusieurs corps commencent par la même lettre, on la réserve ordinairement pour le plus important, et on lui ajoute, pour les autres corps, une petite lettre caractéristique du mot. C'est ainsi qu'après avoir adopté *S* pour représenter le soufre, on désigne le silicium par *Si*.

Les composés binaires sont tout naturellement représentés par la réunion, sans interruption de signe, des symboles relatifs aux éléments qui les composent. Ainsi *Cu S* représente un sulfure de cuivre et *Fe O* un oxyde de fer. Un chiffre placé devant le symbole

joue le rôle du coefficient de l'algèbre, c'est-à-dire qu'il multiplie tout ce qui le suit. On indique le nombre d'atomes ou d'équivalents de chaque composant par un petit chiffre placé à droite et un peu au-dessus de son symbole. Ce signe est donc placé comme l'exposant algébrique, mais il n'en a pas la signification. Ainsi $Fe\,O^2$ indiquerait un atome d'un bioxyde de fer, $3Cu^2S$ signifierait trois atomes de sulfure bibasique de cuivre. Dans presque tous les cas, il est permis, lorsque les deux éléments ont des exposants multiples d'un même nombre, de les diviser par ce facteur commun, pourvu qu'on multiplie le coefficient par ce même facteur. Ainsi $3Cu^4S^2$ pourrait être mis sous la forme $6Cu^2S$.

L'ordre dans lequel il faut placer les symboles des composants ne doit pas être indifférent, si l'on veut ne négliger aucune occasion de rendre la formule plus significative. On est convenu de réserver la seconde place pour le corps minéralisateur, la première étant occupée par l'élément basique ou minéralisé.

Pour les composés oxygénés, qui se présentent fréquemment, on a jugé plus commode de supprimer le signe O dans la formule, et de remplacer chaque O, qui représente un atome d'oxygène, par un point placé au-dessus du radical. Au lieu de $S\,O^3$, par exemple, symbole de l'acide sulfurique, on mettrait simplement $\dddot{S}$, et $\ddot{Fe}$ pour désigner le bioxyde de fer. Lorsqu'il arrive que le radical entre dans le composé pour 2 atomes, on indique cette circonstance par une barre ou par une interruption horizontale qui partage le symbole. Ainsi l'alumine, qui contient 2 atomes d'aluminium et 3 atomes d'oxygène, se représente par $\dddot{\overline{Al}}$.

Pour ne pas être obligé de rappeler à chaque instant la composition de l'eau dans les composés hydratés, on la désigne simplement par Aq. Ainsi 5 Aq indique 5 atomes d'eau.

Les composés ternaires oxygénés n'ont dans leurs formules, comme les composés binaires, qu'un seul terme, où n'entrent que deux symboles, grâce à la convention spéciale adoptée pour l'oxygène. Ainsi 4 $\dddot{\overline{Al}}\,\dddot{S}$ indiquera 4 atomes de sulfate d'alumine et 2 $\dot{Ca}\,\ddot{C}$, 2 atomes de carbonate de chaux.

Quant aux composés ternaires qui ne rentrent pas dans cette catégorie et aux composés quaternaires, on pourrait aussi les représenter par un seul terme où se trouveraient réunis les symboles des éléments constituants. Ainsi la composition chimique de l'orthose serait indiquée par $\dddot{\overline{Al}}\,\dot{K}\,\dddot{Si}^4$; mais une telle formule serait

fort peu expressive, et il vaut bien mieux supposer que la silice se trouve répartie entre les deux bases, de manière à former des silicates que l'on écrira séparément. En adoptant cette disposition, l'orthose serait défini chimiquement de la manière suivante : $\ddot{Al}\,\dddot{Si}^3, + \dot{K}\,\dddot{Si}$, qui indique un trisilicate d'alumine combiné avec un silicate de potasse. De même au lieu de $\ddot{Al}\,\dot{Ca}\,\dddot{Si}^3\,Aq^6$, on écrira $\ddot{Al}\,\dddot{Si}^2 + \dot{Ca}\,\dddot{Si} + 6\,Aq$, qui représente un bisilicate d'alumine, plus un silicate de chaux, plus 6 atomes d'eau. C'est la formule de la chabasie.

Cette dernière méthode se réduit, comme on le voit, à décomposer les minéraux dont il s'agit en leurs éléments binaires ou ternaires oxygénés et à placer à la suite les unes des autres les formules partielles de ces constituants, ayant soin de les séparer par le signe +. Cette manière de procéder est d'ailleurs tout à fait conforme à la théorie sexuelle de Berzélius, dont nous avons dit un mot à l'occasion des proportions définies.

La substance d'un minéral, nous l'avons dit plus haut, peut être modifiée par des substitutions isomorphiques, sans que la formule varie au fond et sans qu'il y ait même changement d'espèce. Il n'en est pas moins utile d'indiquer cette circonstance. On y parvient facilement en substituant au signe de l'élément fondamental, une parenthèse ou mieux une accolade embrassant ce signe d'abord et ensuite ceux des substances isomorphes par lesquelles cet élément se trouve partiellement remplacé. Ainsi la formule de l'orthose, que nous avons construite ci-dessus pour cette espèce supposée dans l'état normal, prendrait la forme suivante dans le cas, par exemple, où l'élément alcalin ne serait plus exclusivement la potasse, mais bien un mélange de potasse dominante, de soude et de chaux :

$$\ddot{Al}\,\dddot{Si}^3 + \left.\begin{array}{l}\dot{K}\\ \dot{Na}\\ \dot{Ca}\end{array}\right|\,\dddot{Si}$$

Conversion des analyses en formules par les poids atomiques. — Avec les notions que nous avons acquises sur les proportions définies et sur la théorie atomique, il est facile, au moins dans les cas ordinaires, de convertir en

formule les résultats immédiats de l'analyse des minéraux. Pour indiquer la marche à suivre, nous traiterons ici quelques cas particuliers, dont deux, par lesquels nous commencerons, seront très-simples; nous donnerons ensuite deux exemples plus compliqués.

1er EXEMPLE.

		Analyse par Klaproth.		Poids atomiques.	Quotients.	Rapport.	Formule.
Cinabre	Soufre. . . .	14,25		200	0,071	1	Hg S.
	Mercure.. . .	85,00		1250	0,068	1	

La chose importante pour établir la formule désirée est de connaître la relation atomique du soufre et du mercure qui constituent ce composé binaire. Pour y parvenir, après avoir inscrit, en regard des quantités fournies par l'analyse, les poids atomiques de ces éléments, je raisonne de la manière suivante : Si 200 est le poids d'un atome de soufre, autant de fois ce nombre sera contenu dans 14,25, autant ce dernier poids de soufre contiendra d'atomes de cette substance. Divisons donc 14,25 par 200, et inscrivons le quotient 0,071 en regard du soufre dans une colonne spéciale. En faisant un raisonnement analogue pour le mercure, je suis conduit à diviser 85 par le poids atomique de ce corps, qui est 1250, ce qui me donne pour quotient 0,068, que je pose sous le résultat précédent, à la même colonne. Les nombres que je viens d'obtenir ainsi diffèrent assez peu l'un de l'autre pour que les chimistes les aient considérés comme étant égaux, mettant la différence sur le compte de l'expérience. Je conclus de là qu'il y a dans le cinabre deux poids équivalents des corps élémentaires qui le constituent, ce qui revient à dire, dans la théorie atomique, qu'un atome du composé contient un atome de soufre, *S*, et un atome de mercure, *Hg*; la formule de ce minéral est donc *Hg S*.

2e EXEMPLE.

		Analyse.	Poids atomiques.	Quotients.	Rapport.	Formule.
Cassitérite	Oxygène. . .	21,33	100	0,2133	2	$\ddot{Sn}$.
	Etain. . . .	78,67	735,3	0,1069	1	

En divisant les poids d'oxygène et d'étain contenus dans la première colonne respectivement par les poids atomiques de ces deux éléments, on trouve pour quotients les nombres inscrits dans la

troisième colonne, lesquels sont entre eux comme 2 est à 1. D'où il résulte que la cassitérite est un oxyde dans lequel il entre, pour chaque atome du composé, un atome d'étain et deux atomes d'oxygène; la formule de ce minéral est donc $\ddot{Sn}$.

3e EXEMPLE.

	Analyse (Bucholz).		Poids atomiques.	Quotients.	Rapport.	Formule.
	—		—	—	—	—
Gypse	Acide sulf. . .	46	500	0,092	1	$\dot{Ca}\,\dddot{S}+2\,Aq$
	Chaux.	33	350	0,094	1	
	Eau.	21	112,50	0,186	2	

La même manière de procéder nous conduit ici à des quotients dont le rapport est presque exactement celui de 1 à 1 et à 2; par conséquent, on peut dire que, dans un atome de gypse, il y a un atome d'acide sulfurique, plus un atome de chaux, plus deux atomes d'eau; ou, ce qui revient au même, un atome de sulfate de chaux, plus deux atomes d'eau. Or, un atome de chaux contient un atome d'oxygène, et doit s'écrire $\dot{Ca}$; un atome d'acide sulfurique exige trois atomes d'oxygène pour un atome de soufre : il sera représenté par $\dddot{S}$; nous aurons donc $\dot{Ca}\,\dddot{S}$ pour notation du sulfate, et, par suite, la formule du gypse sera définitivement $\dot{Ca}\,\dddot{S} + 2\,Aq$.

4e EXEMPLE.

	Analyse (Berthier).		Poids atomiques.	Quotients.	Rapport.	Formule.
	—		—	—	—	—
Feldspath (adulaire)	Silice. . . .	64,20	566,7	0,113	4	$\dddot{Al}\,\dddot{Si}^3+\dot{K}\,\dddot{Si}$
	Alumine. . .	18,40	642	0,028	1	
	Potasse. . .	16,95	590	00,28	1	

Dans cet exemple, les quotients relatifs aux bases sont égaux, et celui qui se rapporte à la silice est quadruple de chacun des deux autres. D'où il faut conclure qu'un atome d'adulaire contient quatre atomes de silice, plus un atome d'alumine, plus un atome de potasse. Or, cette dernière base ne renfermant qu'un atome d'oxygène, sera représentée par $\dot{K}$; l'alumine, qui contient trois atomes d'oxygène pour deux atomes d'aluminium, s'écrira $\dddot{Al}$. Enfin, la silice, qui admet aussi dans sa composition trois atomes d'oxygène, mais qui n'offre qu'un atome de radical, devra être notée $\dddot{Si}$ pour un atome, et, pour quatre atomes, $\dddot{Si}^4$. La formule du miné-

ral dont il s'agit pourrait donc se mettre sous la forme $\dddot{Al}\,\dot{K}\,\dddot{Si}^4$; mais si l'on remarque que la silice joue ici le rôle actif à l'égard de chacune des deux bases qui entrent dans la composition de l'adulaire, on verra qu'il convient de décomposer cette formule en deux parties, dont l'une représenterait un silicate d'alumine et l'autre un silicate de potasse. La difficulté serait maintenant de savoir combien il faudrait porter d'atomes de silice sur chaque atome de base. Parmi les trois manières possibles de faire cette répartition, la plus rationnelle est celle qui attribuerait un seul atome à la potasse et trois atomes à l'alumine qui contient trois atomes d'oxygène ; de sorte que la formule du feldspath, dont nous venons de discuter l'analyse, serait $\dddot{Al}\,\dddot{Si}^3 + \dot{K}\,\dddot{Si}$.

Retour des formules aux analyses. — Le retour de la formule à l'analyse, s'il en était besoin, se ferait par une opération inverse.

S'il s'agissait, par exemple, de retrouver l'analyse du gypse, exprimée en centièmes, d'après la formule $\dot{Ca}\dddot{S} + 2\ Aq$, je décomposerais d'abord cette expression en ses éléments dont je chercherais les poids atomiques. Or, ces éléments sont :

1 atome d'acide sulfurique, qui pèse.	500
1 atome de chaux.	350
2 atomes d'eau dont le poids est 112,50 × 2 = ...	225
Poids d'un atome de gypse.	1075

Ayant ces nombres, il ne me restera plus qu'à chercher les nombres correspondants exprimés en centièmes, ce qui se fera très-facilement par les proportions suivantes :

Pour l'acide sulfurique.	1075 : 500 :: 100 : x = 46,3
Pour la chaux.	1075 : 350 :: 100 : x = 32,5
Pour l'eau.	1075 : 225 :: 100 : x = 20,9

Ces nombres diffèrent légèrement de ceux de l'analyse de Bucholz ; mais peut-être devrait-on les préférer comme étant plus en rapport avec les lois qui président à la composition des corps.

Cet exemple peut servir à donner une idée du moyen dont les chimistes font un assez fréquent usage, pour corriger, comme ils

le disent, les résultats fournis par l'analyse directe, résultats qui peuvent être entachés, d'une part, des erreurs que comportent les procédés encore assez imparfaits de nos laboratoires, et, d'autre part, de celles dans lesquelles on peut être entraîné par suite du mélange de petites quantités de matières étrangères. Ce moyen n'est autre chose, en effet, que l'opération que nous venons d'indiquer pour convertir les formules en analyses. Mais on conçoit qu'il faut être très-réservé dans l'emploi de ces corrections, dont l'abus ne tendrait à rien moins qu'à remplacer les faits tels que la nature nous les présente, par des résultats artificiels qui pourraient faire croire à une régularité rigoureuse dans la composition des minéraux, régularité qui n'existe peut-être pas toujours d'une manière absolue.

Méthode de conversion par l'oxygène. — Cette méthode est basée sur la recherche de l'oxygène et n'est, par conséquent, applicable qu'aux composés ternaires oxygénés. On se rappelle que, dans ces corps, les quantités d'oxygène des éléments binaires minéralisable et minéralisateur, sont toujours dans un rapport très-simple qui ordinairement est celui de l'unité à l'un des premiers nombres de la numération.

Reprenons l'analyse du gypse par Bucholz, déjà traitée ci-dessus :

			Oxyg. p. %.	Oxygène.	Rapport de l'ox.	Rapport atom.	Formule.
Gypse	Acide sulf. . . .	46	59,86	27,53	3	1	$\dot{C}a\ \dddot{S} + 2Aq$
	Chaux.	33	28,09	9,26	1	1	
	Eau.	21	88,90	18,66	2	2	

Il est nécessaire, avant tout, de se procurer la quantité d'oxygène que contient chaque corps oxygéné pour un poids fixe que l'on suppose ordinairement être égal à 100. Il existe des tables dressées spécialement pour cet objet (1). A l'aide de ces chiffres, que je suppose connus pour les corps qui constituent le gypse et que

(1) Le lecteur en trouvera une à la fin de ce chapitre, pour ceux de ces corps qui sont le plus employés, nous y avons ajouté les poids atomiques de ces mêmes corps et leurs formules.

j'inscris dans une colonne particulière, il sera facile de trouver, par de simples règles de trois, les quantités d'oxygène correspondant aux poids fournis par l'analyse.

J'inscris ces chiffres dans la troisième colonne du tableau et je remarque qu'ils sont entre eux dans le rapport des nombres 3, 1, 2 ; ce que je puis exprimer en disant qu'il y a dans l'acide sulfurique trois atomes d'oxygène, dans la chaux un seul atome de ce corps et deux atomes dans l'eau. Or, trois atomes d'oxygène ne forment qu'un atome d'acide sulfurique $\dddot{S}$, un atome d'oxygène correspond à un atome de chaux $\dot{Ca}$, et deux atomes de cet élément sont nécessaires pour former deux atomes d'eau 2 *Aq*. Le rapport atomique des éléments binaires du gypse est donc 1, 1, 2, et, par conséquent, la formule qui doit représenter la composition de ce minéral est $\dot{Ca}\,\dddot{S} + 2\,Aq$, comme nous l'avions déjà trouvé plus directement par les seuls poids atomiques.

Traitons encore à ce point de vue l'analyse de l'amphibole blanche qui porte particulièrement le nom de *trémolite* :

			Oxyg. p. °/o.	Oxygène.	Rapport de l'ox.	Rapport atom.	Formule.
			—	—	—	—	—
Trémolite	Silice . .	59,5	52,94	31,59	9	3	
	Chaux . .	12,5	28,09	3,51	1	1	$\dot{Ca}\,\dddot{Si} + \dot{Mg}^3\,\dddot{Si}^2$
	Magnésie.	26,8	39,79	10,66	3	3	

Ayant cherché et trouvé dans la table la quantité pour 100 d'oxygène qui entre dans la silice, la chaux et la magnésie qui sont les principes constituants de cette sorte d'amphibole, je calcule par la règle de trois, comme je viens de le faire pour le gypse, les quantités qui correspondent aux poids fournis par l'analyse, et je trouve les nombres inscrits dans la troisième colonne. Or, ces nombres sont dans le rapport de 9 à 1 et à 3. J'en conclus que, s'il y a un atome de chaux dans la trémolite, la magnésie y entre pour trois atomes. Quant à la silice dont chaque atome exige trois d'oxygène, elle est ici également pour trois atomes, et par conséquent la trémolite pourra être représentée par l'expression : $\dot{Ca}\,\dot{Mg}^3\,\dddot{Si}^3$, ou mieux, en portant sur la chaux un atome du minéralisateur, et en en laissant deux à la magnésie, $\dot{Ca}\,\dddot{Si} + \dot{Mg}^3\,\dddot{Si}^2$.

TABLEAU DES FORMULES DES CORPS OXYGÉNÉS LES PLUS EMPLOYÉS,

AVEC LES POIDS ATOMIQUES ET LES QUANTITÉS POUR °/₀ D'OXYGÈNE (1).

Andrides.

Noms.	Form.	P^ds atom.	Oxyg. p. °/₀	Noms.	Form.	P^ds atom.	Oxyg. p. °/₀
Acide sulfurique.	$\dddot{S}$	500	60	Acide arsénique.	$\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{As}$	1437.50	34.78
— borique.	$\dddot{B}$	436.15	68.78	— carbonique.	$\ddot{C}$	275	72.32
— azotique.	$\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{Az}$	675	74.07	Silice.	$\dddot{Si}$	566.7	52.94
— phosphorique.	$\overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{P}$	700	55.56	Eau.	$\dot{H}$	112.50	88.87

Alcalis et terres.

Potasse.	$\dot{K}$	590	17	Baryte.	$\dot{Ba}$	958	10.43
Soude.	$\dot{Na}$	387.2	25.83	Magnésie.	$\dot{Mg}$	251.3	39.79
Lithine.	$\dot{Li}$	180.37	55.44				
				Glucine.	$\dddot{\overline{Gl}}$	?	62.75
Chaux.	$\dot{Ca}$	350	28.09	Alumine.	$\dddot{\overline{Al}}$	642	46.73

Oxydes métalliques.

Protoxyde de mang.	$\dot{Mn}$	444.7	22.48	Sesquioxyde de fer.	$\dddot{\overline{Fe}}$	1000	30.66
Sesquioxyde —	$\dddot{\overline{Mn}}$	989.4?	30.32	Protoxyde de zinc.	$\dot{Zn}$	506.6	19.74
Bioxyde —	$\ddot{Mn}$	544.7	36.70	— de cuivre.	$\dot{Cu}$	495.6	20.17
Protoxyde de fer.	$\dot{Fe}$	450	22.50	— de plomb.	$\dot{Pb}$	1394.5	7.17

(1) Nous n'avons pas donné immédiatement les quantités p. °/₀ des radicaux ; mais il est facile de voir qu'il suffirait, pour les obtenir, de retrancher de 100 les nombres inscrits dans notre troisième colonne.

OBSERVATION.

Ce tableau et celui déjà donné à la page 15 fourniront au lecteur sérieux tous les éléments qui lui seront nécessaires pour s'exercer à d'utiles applications des généralités qui viennent d'être exposées et pour se rendre compte de la composition des principales espèces que nous aurons à décrire.

DE LA FORME ET DE LA STRUCTURE RÉGULIÈRES.

L'étude des cristaux a donné lieu à une science spéciale qu'on désigne par le nom de *cristallographie* ; la partie de cette science qui s'occupe des minéraux cristallisés, au point de vue de l'histoire naturelle, doit être considérée comme la base la plus solide de la minéralogie (1). Aussi, l'étudierons-nous avec un soin particulier. Nous croyons devoir rattacher à cette partie importante de notre tâche deux sujets qui s'y lient, en effet, assez naturellement, et dont nous nous occuperons en premier lieu. Je veux parler de la *cristallisation* et de la *mesure des angles.* Enfin, avant d'entrer définitivement dans l'étude des cristaux et de leur classification, nous donnerons un *aperçu historique* des progrès qu'a faits cette partie des connaissances humaines depuis le temps de Pline jusqu'à nos jours, où l'on verra que la cristallographie est une science toute moderne dont les bases ont été établies par deux savants français.

DE LA CRISTALLISATION.

Conditions dans lesquelles le cristal peut se produire ; modes de cristallisation. — L'observation et l'expérience prouvent, nous l'avons déjà dit, que, dans toutes les circonstances où les molécules d'un corps sont mises en présence, étant libres de se mouvoir et de se tourner sans être gênées ou troublées par aucune circonstance étrangère, elles se portent les unes vers les autres et s'agglomèrent de manière à produire des molécules cristallines qui elles-mêmes, par leur agrégation régulière, donnent naissance à un cristal. Les physiciens ont imposé à ce phénomène naturel, et souvent même à la cause ou force qui est supposée le produire, le nom de *cristallisation.*

Il y a deux manières de rendre libres et mobiles les particules

---

(1) La cristallographie mathématique, cette belle création de Haüy, constitue une extension abstraite aujourd'hui très-développée *de la science des cristaux*, qui peut et doit même rester en dehors des attributions du naturaliste appelé à s'occuper des minéraux cristallisés.

d'un corps et de les placer par conséquent dans les conditions indispensables pour que la cristallisation puisse avoir son effet, savoir :

1° **La voie humide**, c'est-à-dire par solution et évaporation : ce mode n'est guère applicable qu'aux sels ;

2° **La voie sèche** : celui-ci, qui exige l'emploi d'une chaleur plus ou moins intense, comprend lui-même trois moyens :

a. Fusion et refroidissement simple ;

b. Fusion par l'intermédiaire des fondants ;

c. Sublimation . . . { *directe*, *indirecte ou par transport*.

Cristallisation par voie humide. — Si l'on fait dissoudre dans de l'eau, jusqu'à saturation, du sel de cuisine ordinaire, par exemple, et qu'on expose ensuite la solution à l'air libre dans un vase ouvert placé dans un lieu tranquille, l'évaporation fera peu à peu disparaître une partie du dissolvant, et les molécules salines correspondantes, ainsi devenues libres, s'agrégeront de manière à former de petits solides cubiques. Ceux-ci se déposeront sur les bords ou au fond du vase, et, sans changer de forme, s'accroîtront d'autant plus, par l'addition de nouvelles molécules, qu'on laissera l'expérience se prolonger plus longtemps. En opérant sur un autre sel, on aurait, en général, une forme différente; ainsi, l'alun donnerait des octaèdres réguliers, le nitre des prismes hexaèdres pyramidés, etc...

On remarque, dans ces expériences, que la lenteur et la tranquillité de la solution favorisent la régularité et l'accroissement des cristaux ; de sorte que si l'on veut précipiter l'opération, en concentrant, je suppose, la dissolution par la chaleur et en la laissant ensuite refroidir, les cristaux se forment, à la vérité, plus vite, mais ils se groupent alors à la hâte, de manière à présenter des masses plus ou moins confuses. Cette confusion et l'irrégularité augmentent encore si l'on vient à agiter le liquide pendant le refroidissement, comme on le fait, par exemple, dans les salines où l'on veut obtenir le sel en petits grains.

La position des embryons dans le vase, le volume de la solution et surtout la nature du liquide dissolvant, influent d'une manière très-marquée sur la forme, la régularité, la netteté et le volume des cristaux. En faisant varier ces diverses circonstances, on peut

donner naissance à des modifications de formes ou à des accidents que la nature présente. Nous ne devons ici qu'indiquer ces expériences, sur lesquelles nous reviendrons lorsqu'il sera question des accidents naturels qu'elles servent à expliquer.

Dans presque toutes les cristallisations que l'on fait par voie humide, c'est l'eau qui joue le rôle de dissolvant; aussi n'obtient-on guère par ce moyen que des cristaux de sels proprement dits. En faisant intervenir quelques matières accessoires de manière à modifier plus ou moins ce liquide, on parvient à étendre le domaine de ce genre de cristallisation. Ainsi, la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique permet à l'eau de dissoudre le calcaire et d'autres carbonates qu'elle laisse ensuite déposer, sous forme de cristaux, par le dégagement lent de ce gaz. La voie humide comporte aussi l'emploi d'autres liquides qui agissent sur des corps que l'eau ne dissoudrait pas. C'est ainsi que le soufre cristallisé s'obtient facilement quand on l'a fait dissoudre dans le sulfure de carbone.

Cristallisation par voie sèche : *a.* FUSION ET REFROIDISSEMENT SIMPLE. — Ce mode de cristallisation ne réussit pas toujours, à cause de la rapidité et de la précipitation des travaux de laboratoire, où l'on opère nécessairement sur une quantité très-limitée de matière qui, par conséquent, doit se refroidir plus ou moins vite. Toutefois, on parvient à obtenir d'assez beaux groupes cristallins avec les corps qui ont le plus de tendance à cristalliser, comme le bismuth, l'antimoine, le soufre. Tout le monde connaît ces belles cristallisations où le bismuth se présente sous forme d'ornements grecs produits par des assemblages réguliers de rhomboèdres cuboïdes. On les obtient en faisant fondre ce métal dans un têt à rôtir, en détachant la croûte formée à la surface supérieure, à une certaine phase de refroidissement, et décantant enfin la portion qui n'a pas encore été solidifiée. Le soufre, soumis à la même opération, offre des prismes allongés qui s'entre-croisent.

b. A L'AIDE DES FONDANTS. — C'est principalement à M. Ebelmen que l'on doit ce nouveau et puissant moyen de cristallisation (1). Il

---

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences : = 1847, 2e semestre, pages 279 et 661 ; — 1851, 1er semestre, page 330 ; — 1851, 2e semestre, page 525.

consiste à faire dissoudre, à l'aide de la chaleur suffisamment prolongée d'un four à porcelaine, les matières dont on veut déterminer la cristallisation, dans un fondant qui peut être acide (*acide borique, borax, phosphate acide*) ou alcalin. Dans ce dernier cas, il faut prendre un mélange d'alcali et de silice, afin d'obtenir, par la fusion, un verre suffisamment fixe au sein duquel les cristaux du corps en dissolution puissent se développer avec toute la netteté désirable. La cristallisation a lieu, soit au milieu même de ces liquides en fusion, en raison d'une simple différence de température, ou par l'évaporation lente de ces fondants, qui ne résistent pas à un feu vif longtemps soutenu. Il se passe ici quelque chose d'analogue à la cristallisation des sels par voie humide, soit qu'on la détermine par le refroidissement d'un liquide saturé à chaud ou par l'évaporation ménagée du dissolvant. Ce moyen est surtout applicable aux corps infusibles et particulièrement à la production artificielle des pierres précieuses, comme le *corindon,* le *spinelle,* la *cymophane*..., dont M. Ebelmen est parvenu à obtenir de petits cristaux plus ou moins déterminables.

c. SUBLIMATION : 1° *directe*. — Il est assez difficile de faire cristalliser artificiellement les corps par ce moyen que la nature paraît avoir assez fréquemment employé. On réussit cependant avec certaines substances. Ainsi, par exemple, en chauffant de l'arsenic dans une cornue, on le réduit en vapeurs avant qu'il ait eu le temps d'entrer en fusion, et l'on voit les vapeurs se condenser dans le goulot du vase en incrustations cristallines où l'on peut distinguer la forme rhomboédrique, si toutefois l'opération a été bien conduite. On peut aussi obtenir le zinc en parties cristallines par ce moyen, qui réussit mieux encore avec le soufre et avec quelques combinaisons arsenicales.

... 2° *indirecte*. — On arrive encore à produire des cristaux par une autre sorte de sublimation, qui consiste à faire transporter les molécules de certains corps, susceptibles ou non de se sublimer directement, par des courants de gaz ou de vapeurs qui les déposent ensuite sur les surfaces que ces courants viennent à frapper ou à rencontrer. C'est probablement de cette manière que se forment les tourteaux cristallins de calcaire ou d'aragonite que l'on trouve quelquefois sous les pistons des machines à vapeur. Ce mode de cristallisation a donné naissance à beaucoup de produits cristal-

lisés, particulièrement dans les volcans, dans les filons et dans les évents par lesquels sourdent les eaux thermales (1).

Cristaux naturels. — La nature paraît avoir mis en usage ces différents moyens de produire des cristaux ; elle s'est fréquemment servie, par exemple, des actions thermales, qui comprennent plusieurs des modes indiqués ci-dessus, et de la cristallisation par voie de fusion et refroidissement. Tout nous porte à croire qu'elle avait encore d'autres moyens à sa disposition que nous ne connaissons pas encore ou que nous ne savons pas employer. D'ailleurs, opérant sur des masses considérables de matière, disposant à son gré du temps et de l'espace, et pouvant, par conséquent, faire concourir à l'acte de la cristallisation et avec une lenteur indéfinie, des forces moléculaires que nous commençons à peine à soupçonner, et que nous ne parvenons dans tous les cas à faire agir qu'à la hâte et seulement dans quelques cas favorables, elle a eu la puissance de faire cristalliser presque tous les corps, même les plus insolubles et les plus réfractaires, sous des formes d'une variété infinie, souvent d'un beau volume et quelquefois d'une grande régularité (2). Pour nous, livrés à nos faibles ressources dans nos expériences mesquines et précipitées, tous nos efforts n'aboutissent qu'à produire un nombre très-restreint de formes très-imparfaites, pour une très-petite partie des corps qui constituent le règne minéral (3).

---

(1) Dans les divers genres de cristallisation qui viennent d'être signalés, nous prenions les corps tout formés pour les placer dans des circonstances telles qu'ils pussent se désagréger d'abord et se réagréger ensuite avec des formes régulières. Il existe des procédés par lesquels on fait naître les corps eux-mêmes, par des réactions toutes chimiques, au moment de les faire cristalliser. Nous en parlerons en traitant du mode de formation des minéraux.

(2) Nous devons dire que l'état de régularité absolu, vers lequel la nature tend sans cesse, que nous devons toujours supposer en cristallographie et que nous donnons à nos modèles et à nos figures, se trouve rarement réalisé dans les cristaux naturels. Ceux-ci, qui ont presque toujours les faces inégalement développées par l'influence de circonstances particulières, sont fréquemment groupés par certaines parties qui se pénètrent, engagés partiellement dans une gangue, aplatis ou allongés par la pression ou par l'influence de la forme du réceptacle.

(3) Il faut excepter cependant les sels dont les cristaux artificiels peuvent être très-volumineux et très-beaux. Dans ce cas, l'art l'emporte beaucoup sur la nature ; mais il est facile de voir que cela tient à la solubilité de ces corps qui entraîne leur destructi-

Ces considérations, qui doivent s'étendre, en général, à toutes les propriétés physiques des minéraux, peuvent déjà nous laisser entrevoir une grande différence entre les individus qui nous sont offerts directement par la nature et ceux que nous obtenons artificiellement.

Fréquence des minéraux cristallisés. — D'après ce que nous venons de dire sur la cristallisation, et spécialement sur les conditions favorables dans lesquelles la matière doit se trouver pour obéir à cette force, si, d'autre part, on se réprésente les circonstances qui ont dû accompagner la formation des roches ignées et des strates sédimentaires, on sera porté à penser que la nature doit rarement présenter les minéraux bien cristallisés, et que, dans tous les cas, le caractère tiré de la forme devrait être d'un usage presque nul. Cependant il n'en est rien, et l'on peut même dire qu'une masse de roche un peu considérable présente presque toujours quelque géode, fente ou fissure, où les caractères cristallins d'un ou de plusieurs de ses minéraux constituants ou accessoires se montrent, comme si la cristallisation, fuyant l'agitation et le tumulte, était venue s'y réfugier. On sait, au reste, que les roches plutoniennes et même les roches volcaniques sont fréquemment composées de minéraux immédiatement reconnaissables à leurs formes (*granite, porphyre, trachyte, dolérite*).

La tendance qu'ont les minéraux à se présenter à l'état de cristaux varie beaucoup d'une espèce à l'autre. Il existe même quelques espèces qu'on n'a jamais rencontrées cristallisées; mais, par cela même, ces minéraux sont imparfaitement caractérisés comme types, et certains, comme la *saussurite* et la *néphrite*, ne sont considérés par beaucoup de minéralogistes que comme des variétés compactes d'espèces bien définies par des formes cristallines prononcées.

MESURE DES ANGLES.

Fixité de l'angle dièdre ; goniomètres. — Nous avons déjà dit que les cristaux se montrent rarement avec la per-

bilité par les infiltrations aqueuses ou par les vapeurs humides qui circulent incessamment dans le sein de la terre.

fection que nous sommes obligés de leur supposer dans nos considérations cristallographiques. En laissant ici de côté les oblitérations qui les altèrent au point de les rendre presque inutiles, dont il sera question plus loin, leur état habituel est un état de monstruosité qui amène l'inégalité des faces, l'allongement ou le raccourcissement de certaines arêtes... D'où il résulte qu'il ne faut pas attacher beaucoup d'importance aux dimensions réelles des minéraux cristallisés. Il n'y a réellement qu'une chose qui persiste au milieu de toutes les variations que nous venons d'indiquer : c'est l'angle *dièdre*. C'est donc une chose très-importante que cet angle ; c'est même la seule partie du cristal qu'il soit utile de mesurer exactement. On y parvient à l'aide d'instruments particuliers auxquels on a donné le nom de *goniomètres*.

Il en existe un assez grand nombre dont les dispositions sont plus ou moins ingénieuses ; mais les deux seuls qui nous paraissent devoir être décrits dans un ouvrage de minéralogie, sont le *goniomètre d'application*, que l'on emploie le plus ordinairement, et le *goniomètre à réflexion* de *Wollaston*, qui doit être réservé pour des expériences délicates que l'on ne peut faire même que dans des circonstances particulières.

Goniomètre d'application. — L'angle de deux plans se mesure, comme on le sait, par celui que forment deux droites placées l'une sur le premier plan et l'autre sur le second, perpendiculairement à l'intersection commune en un même point de cette intersection. D'après cela, qu'on prenne deux règles ou alidades mobiles autour d'un axe qui les traverse toutes deux, comme il arrive, par exemple, dans une paire de ciseaux, qu'on place cet instrument à cheval sur l'arête du cristal de manière que les deux règles soient bien perpendiculaires à cette arête, et que, d'un autre côté, elles s'appliquent exactement sur les deux faces qui forment l'angle à mesurer, il ne s'agira plus, pour avoir la mesure cherchée, que de porter le système des deux règles sur un demi-cercle divisé et de lire le nombre de degrés sur le limbe.

Tel est le principe, l'usage et à peu près la construction très-simple, comme on le voit, des goniomètres d'application. Qu'on ajoute maintenant des rainures suivant l'axe des règles, afin de pouvoir les faire glisser pour les allonger et les raccourcir d'un côté, ce qui est essentiel surtout dans le cas où les cristaux sont

engagés dans une gangue, qu'on fasse au centre du rapporteur un trou circulaire destiné à recevoir l'axe de rotation, et qu'on place enfin sur le diamètre du demi-cercle un repère qui assure le passage d'une des alidades par le zéro de la division, et l'on aura le goniomètre le plus généralement employé.

La faculté que l'on a, en se servant de cet instrument, de s'affranchir du demi-cercle gradué pendant que l'on cherche à appliquer les alidades sur les faces du cristal, est un avantage réel ; mais, d'un autre côté, l'ajustation de ce système sur le cercle pour la recherche de la valeur de l'angle peut entraîner un petit mouvement des alidades et par conséquent une variation dans la grandeur de leur écartement. Aussi beaucoup de minéralogistes préfèrent-ils le goniomètre primitivement imaginé par Carangeot (*fig.* 4), dans lequel le centre de rotation des alidades et l'une de ces règles, dirigée suivant le diamètre du cercle, sont fixes. Une brisure à charnière,

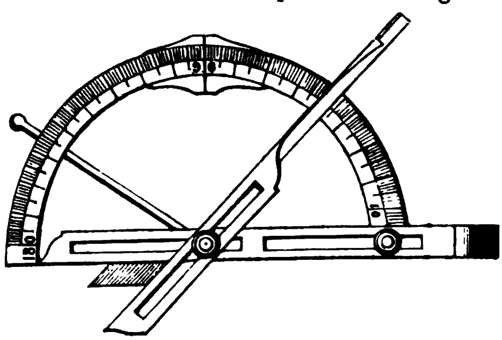


Fig. 4.

au milieu du limbe, permet d'ailleurs de replier le quart du cercle de gauche sous celui de droite dans le cas où, le cristal étant engagé dans une gangue, cette portion du cercle gênerait l'opérateur. On rétablit ensuite, pour la mesure de l'angle, ce quadrant dans la position normale, où il est maintenu par une tringle à l'aide d'un bouton. C'est avec ce simple instrument, ainsi perfectionné par Haüy, et qui porte son nom, que cet illustre minéralogiste a fait toutes les observations d'angles qui ont servi de base à ses belles considérations cristallographiques et à ses descriptions d'espèces.

Goniomètre de Wollaston. — Cet instrument, plus précis que le précédent, mais d'un usage nécessairement restreint, doit la rigueur dont il est susceptible à celle de la marche même des rayons lumineux lorsqu'ils se réfléchissent à la surface des corps polis et brillants.

Soit *a o b* (*fig.* 5) l'angle formé par deux plans réfléchissants, et supposons qu'un rayon de lumière *r o* émané d'un point *r* tombe en *o* sur l'un de ces plans *a o*, le rayon se réfléchira dans la direction *o S* en faisant avec le plan un angle *S o b'* égal à l'angle d'incidence *r o a* et pourra être reçu dans un œil *S* où il portera l'image du point *r*. Supposons maintenant que, l'œil ne changeant point de position, on fasse tourner le système des deux plans autour de l'arête d'intersection projetée en *o*, jusqu'à ce que la face *o b* arrive en *o b'* dans le prolongement de la position primitive du plan *o a* qui maintenant se trouvera en *o a'*, n'est-il pas vrai que l'œil fixé en *S*, qui, pendant ce mouvement, avait perdu l'image du point *r*, la percevra de nouveau aussitôt que les plans s'arrêteront dans cette nouvelle position? Or, il est évident que l'angle *b o b'*, décrit dans le mouvement opéré par le système en passant de la première position, dans laquelle le rayon était réfléchi par le plan *a o*, à la seconde où cette réflexion s'opérait par le plan *o b'*, se trouve être justement le supplément de l'angle *a o b* formé par les deux plans; d'où il résulte qu'en mesurant le premier de ces angles et en le retranchant de 180, on aura exactement la valeur du second.

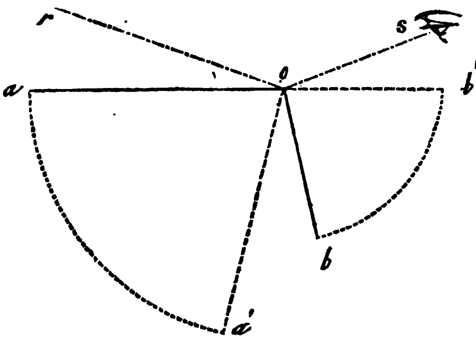


Fig 5.

L'instrument de Wollaston, représenté figure 6, est destiné à rendre l'application de cette théorie aussi exacte et aussi commode que possible. Il se compose d'un cercle vertical *a* gradué, pouvant tourner autour d'un axe horizontal par le moyen de la virole *f*. Cet axe traverse un pied droit assemblé solidement sur une base massive *c d* qui supporte tout l'appareil (1). Il est creux et traversé lui-même par un autre axe qui peut tourner seul au moyen d'un bouton particulier *g*, mais qui adhère toutefois assez à l'axe

(1) Il est bon de donner à cette base la forme d'un carré ou d'un rectangle dont deux côtés seraient parallèles à l'axe horizontal de l'instrument. Il en résulte une grande facilité pour l'orientation, ainsi que nous le verrons tout à l'heure.

principal pour que celui-ci entraîne l'autre dans tous ses mouvements. L'axe intérieur porte à son extrémité l'appareil destiné à la pose du cristal. Cet appareil offre deux pièces : la première se compose de deux coudes rectangulaires dont l'un est mobile autour du point *h* dans un plan horizontal ; l'autre pièce est une tigelle *n o* pincée à l'extrémité du coude mobile, de manière à pouvoir être déplacée dans le sens de sa longueur, et aussi à tourner autour de son axe. La petite plaque *o*, soudée à l'extrémité de la tigelle, peut donc subir, par l'effet de ces deux mouvements, des changements de position de deux sortes, perpendiculaires entre eux et indépendants l'un de l'autre.

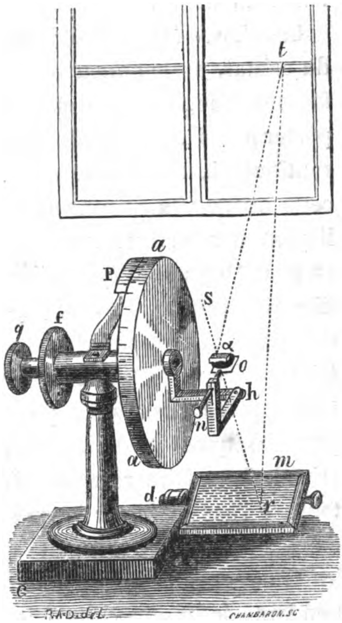


Fig. 6.

Le coude *h n* et par conséquent aussi la tigelle *n o* ayant été préalablement tournés dans un plan parallèle à celui du grand cercle gradué, ainsi que le montre la figure, on fixe sur la petite plaque *o*, avec un peu de cire molle, le cristal *α* que l'on veut soumettre à l'expérience. Il faut l'y placer tout au bord de manière que l'arête de l'angle à mesurer soit parallèle à l'axe de l'instrument et, autant que possible même, dans le prolongement de cet axe, ce que l'on peut faire facilement en poussant ou retirant la tigelle. Mais la simple pose du cristal, en admettant même qu'elle ait été faite avec beaucoup de soin, ne permet que d'approcher de la condition du parallélisme, et comme le succès de l'opération exige que cette condition soit remplie d'une manière rigoureuse, il faut nécessairement avoir un moyen sûr d'y parvenir. En voici un très-simple et très-ingénieux imaginé par Wollaston. Il exige qu'on ait à sa disposition deux lignes de mire parallèles à l'axe de l'instrument, l'une supérieure au niveau de l'observateur et l'autre inférieure. On se les procure facilement en plaçant l'instrument sur une table de manière que son axe soit parallèle aux barreaux d'une croisée éloignée d'au moins 3 mètres. La mire su–

périeure sera donnée par un de ces barreaux ; l'autre sera, je suppose, l'arête d'intersection du mur de la croisée avec le plancher ou toute autre droite qui aurait été tracée parallèlement sur le plancher lui-même, ou, mieux encore, l'image de la première mire sur un miroir mobile autour d'un axe fixé en *d* au pied du goniomètre dans la direction du côté du rectangle qui est parallèle à l'axe de l'instrument (1).

Les choses étant ainsi disposées, et l'œil ayant été placé très-près du cristal, on fait mouvoir l'axe intérieur pour amener l'une des faces de l'angle à déterminer, dans une position telle qu'elle puisse porter à l'œil, l'image de la plus haute des deux lignes de mire ; on continue ensuite à faire tourner l'axe très-lentement jusqu'à ce que cette image vienne rencontrer la deuxième ligne vue directement. Il peut alors arriver que ces deux lignes coïncident ; dans ce cas on peut être assuré que la face sur laquelle on a opéré est perpendiculaire au plan du cercle gradué. Si elles ne coïncidaient pas, il faudrait faire varier doucement la position de la plaquette *o*, en faisant tourner la tigelle et recommencer l'épreuve. Après un certain nombre d'essais on parviendra à obtenir la coïncidence, et par conséquent aussi la perpendicularité de la première face du cristal. Pour faire remplir à l'autre face la même condition, on fait tourner l'axe intérieur jusqu'à ce que cette face arrive à peu près dans la position qu'occupait la première, et l'on répète à son égard les tâtonnements qui viennent d'être indiqués, en ayant soin cependant de n'agir cette fois que sur le genou *h n*, afin qne le changement opéré dans la position de la seconde face n'altère pas l'ajustement de la première. Il convient toutefois de revenir à celle-ci pour s'assurer si elle n'a pas été dérangée, auquel cas il faudrait encore retoucher avec précaution la tigelle. On devra ainsi continuer les tâtonnements jusqu'à ce que la coïncidence des deux lignes ait lieu sur l'une et l'autre faces.

Lorsque cette condition est satisfaite, on peut être assuré que l'arête de l'angle qu'on veut mesurer est exactement perpendiculaire au plan du cercle ou parallèle à l'axe de rotation : il ne s'agit plus alors que de procéder à la mesure. Pour cela, on amène le zéro

---

(1) Ce miroir pourrait servir en outre à vérifier le parallélisme de l'axe du goniomètre et de la mire principale ; car cette condition se trouve remplie si l'image réfléchie par le miroir est parallèle au côté de la base supposée rectangulaire.

du cercle gradué à coïncider avec le point de repère tracé sur le nonius fixe P, et, sans changer cette position du grand cercle, on fait tourner l'axe intérieur jusqu'à ce qu'il place l'une des faces de l'angle dans la position qui convient pour qu'on puisse observer la coïncidence des deux lignes de mire vues l'une directement et l'autre par réflexion. Après quoi, au moyen de la virole *f*, on fait tourner le grand cercle qui entraînera dans son mouvement l'axe intérieur et le cristal lui-même, et on l'arrête au point où l'observation de la coïncidence peut se faire sur la seconde face. D'après ce que nous avons dit en commençant, la mesure cherchée sera le supplément de la quantité dont le cercle aura tourné, laquelle se lira sur le limbe et sur le nonius.

Il est indispensable, pour obtenir des résultats exacts, que les lignes de mire soient assez éloignées, et que l'œil, au contraire, soit le plus près possible du cristal, afin qu'on puisse le considérer comme ayant une position fixe. Il faut aussi, par la même raison, que le cristal sur lequel on opère soit très-petit. D'ailleurs, il va sans dire que ses faces doivent être suffisamment réfléchissantes. Ces conditions limitent beaucoup le nombre des cas dans lesquels ce goniomètre peut être avantageusement employé (1).

APERÇU HISTORIQUE.

Les anciens : Pline. — Malgré l'importance de la forme régulière dans les minéraux, et bien que les exemples n'en soient pas rares dans la nature, les anciens y avaient fait peu attention. Ils connaissaient cependant la forme géométrique du cristal de

---

(1) Haüy se servait exclusivement, ainsi que nous venons de le dire, du goniomètre d'application. Cependant il accordait au moyen d'apprécier la grandeur des angles par la réflexion de la lumière une grande confiance, et il l'employait même dans certaines circonstances délicates où le goniomètre ordinaire n'aurait pas suffi. Lorsqu'il voulait, par exemple, s'assurer de l'identité de deux angles appartenant à deux cristaux différents, il fixait l'un et l'autre cristal sur un même socle avec de la cire, en ayant soin de donner, aux arêtes des angles qu'il voulait comparer, une position horizontale et parallèle, et en même temps à deux de leurs faces correspondantes une inclinaison telle, que l'œil vît coïncider la lumière d'une bougie reflétée sur l'un et sur l'autre. Ceci étant fait, il faisait tourner autour de l'arête tout le système jusqu'à ce que le reflet vînt se montrer sur la deuxième face de l'angle qu'il s'agissait de vérifier. Si, dans cette nouvelle position, il obtenait encore une coïncidence entre ce reflet et celui de la face correspondante du cristal voisin, il en concluait l'égalité absolue des deux angles.

roche, celle du diamant et quelques autres appartenant à des pierres transparentes; mais ils étaient loin de soupçonner que cette propriété était générale pour tous les corps du règne minéral. On trouve une preuve de leur ignorance à cet égard dans l'explication singulière que Pline donnait de la formation des prismes hexaèdres pyramidés du quartz hyalin (cristal de roche). Comme ces cristaux offrent ordinairement la limpidité et, jusqu'à un certain point, l'aspect de l'eau congelée, et que les géodes qui les recèlent se trouvent souvent dans les montagnes, à une hauteur qui dépasse la limite des neiges perpétuelles, ce naturaliste avait imaginé que le minéral dont il s'agit n'était autre chose que de la glace consolidée, par un froid longtemps prolongé, au point de ne plus pouvoir revenir, ainsi que le fait la glace, dans les circonstances ordinaires, par l'influence d'une température plus douce, à l'état d'eau liquide. C'est à cette analogie, ou pour mieux dire à cette erreur, que nous devons probablement le nom de *cristal*, dérivé du mot grec κρύσταλλος, qui signifie *eau congelée*, et qui, étendu d'abord au quartz hyalin prismé des montagnes, d'après l'idée de Pline, fut plus tard appliqué à tous les corps diaphanes offrant une forme régulière, et même à des masses vitreuses artificielles tout à fait amorphes. Maintenant on donne ce nom, en minéralogie, indistinctement à tous les corps réguliers et géométriques que présente le règne minéral, qu'ils soient diaphanes ou opaques, brillants ou ternes, polis ou rugueux.

Linné. — Le célèbre Linné passe pour avoir soupçonné, le premier, le parti qu'on pouvait tirer de la forme des cristaux dans la minéralogie; mais il mêla à cette idée un faux point de vue d'où il voyait les pierres cristalliser sous l'influence des sels. Il appelait, par exemple, le diamant *alumen-adamas*, formant ainsi l'association monstrueuse de la plus parfaite des gemmes et de l'alun cristallisé, uniquement parce que ces deux minéraux présentaient la forme octaédrique. Il accouplait de la même manière le cristal de roche au nitre, etc.

Guiglielmini. — D'après M. Delafosse (1), dès 1688, Guigliel-

(1) Thèse sur la structure des cristaux, page 5.

mini, dans une dissertation sur la figure des sels, aurait déjà fait entrevoir la possibilité de faire dériver les formes d'un minéral cristallisé de l'une d'elles choisie parmi les plus simples. Il aurait donc été plus loin que Linné et à une époque plus reculée.

Buffon, Romé de l'Isle. — L'étude des cristaux ne paraît pas avoir fait beaucoup de progrès jusqu'à la fin du dernier siècle, où parut la *cristallographie* de Romé de l'Isle. A cette époque, les plus illustres chimistes avançaient que le même minéral, étant susceptible de prendre toutes sortes de formes différentes, et que, au contraire, une même forme pouvant appartenir à des corps différents, cette propriété ne pouvait servir à caractériser les minéraux (1). M. de Buffon lui-même écrivait : « *En général, la forme de cristallisation n'est pas un caractère constant, mais plus équivoque et plus variable qu'aucun autre des caractères par lesquels on doit distinguer les minéraux.* » Romé de l'Isle réduisit à néant ces assertions erronées, en faisant voir que les formes différentes que paraissait prendre un même minéral n'étaient que des dérivations faciles à comprendre et à reproduire, d'une forme simple, unique et fondamentale prise pour type, dont les incidences des faces avaient une valeur constante et qui persistait dans les cristaux composés malgré la suraddition de nouvelles faces secondaires, que ces dernières faces elles-mêmes formaient aussi, entre elles et avec les premières, des angles également constants, et que enfin à chaque minéral différent correspondait une forme fondamentale ou primitive spéciale qui suffisait, dans la plupart des cas, pour le caractériser rigoureusement, soit qu'elle se présentât directement dans la nature ou qu'on fût obligé de la déduire d'une forme secondaire donnée.

Haüy : allemands. — A l'époque même où paraissait l'ouvrage de Romé de l'Isle, Haüy commençait à étudier, de son côté, les cristaux. Dans la suite de cet ouvrage, nous le verrons pénétrer profondément dans l'intérieur des minéraux cristallisés, y reconnaître un noyau central primitif et la forme même des

(1) Bergmann avait cependant reconnu la structure régulière de certains cristaux et avait même entrevu la loi de décroissement qui permet de faire dériver d'un type les formes secondaires qui en dépendent.

molécules intégrantes, puis se servir de ces éléments pour reconstruire toutes les formes secondaires à l'aide de l'ingénieux moyen des décroissements. Nous nous contenterons de dire ici, pour ne pas nous écarter du but spécial de cet article, qu'il établit la loi de symétrie qui doit régir la déduction des formes secondaires en partant de la forme primitive, et qu'il reconnut, plus explicitement que ne l'avait fait Romé de l'Isle, les systèmes cristallins, dont la réduction à un petit nombre de types et la classification étaient réservées aux cristallographes allemands.

NOTIONS GÉNÉRALES RELATIVES AUX CRISTAUX ET A LEURS AFFINITÉS.

Dans ces notions générales, comme dans les autres études que nous ferons ensuite sur les cristaux, nous ne considérerons que des *genres* de formes. Les *espèces* de formes déterminées par des valeurs particulières d'angles ou de dimensions, véritable base de la spécification des minéraux, ne seront que des applications qu'il sera facile de rattacher aux faits généraux qui vont nous occuper.

Symétrie; principaux genres de formes. — Dans l'état normal, un cristal offre extérieurement la forme d'un polyèdre à surface convexe, condition qui exclut toute partie rentrante. Il y a trois choses à considérer dans cette surface : les *faces*, les *arêtes* et les *angles*.

Le faces sont planes et de figure polygonale. Les arêtes sont nécessairement rectilignes. On les dit *rectangulaires*, *aiguës* ou *obtuses*, suivant que les plans qui leur donnent naissance par leur intersection forment entre eux des angles droits, aigus ou obtus.

Les angles sont de trois sortes : les angles *solides*, les angles *dièdres* et les angles *plans*.

Les polyèdres du règne minéral offrent toujours une certaine symétrie. Ainsi, dans les moins parfaits, les faces et les arêtes opposées sont au moins égales et parallèles deux à deux (1), et les angles solides opposés sont égaux.

La symétrie des cristaux est encore caractérisée par la propriété

(1) Quelques formes hémièdres, comme le tétraèdre, ne remplissent pas, il est vrai, cette condition ; mais on y trouve d'autres caractères équivalents.

d'avoir, en général, un *centre*, c'est-à-dire un point intérieur tellement placé que toute droite qui y passe et qui se termine à la surface extérieure du cristal, se trouve divisée à ce point, en deux parties égales.

Les formes cristallines peuvent être *simples* ou *composées*. Les premières sont celles dont toutes les parties, peu nombreuses, normalement étendues, sont nécessaires pour constituer des polyèdres uniques susceptibles d'être définis et dénommés géométriquement. Ce sont les éléments dont la combinaison donne lieu aux

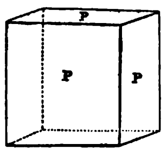


Fig. 7.

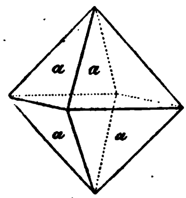


Fig. 8.

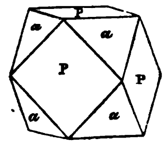


Fig. 9.

formes composées. Les figures 7 et 8 montrent séparément deux formes simples, un cube et un octaèdre, qui, par leur combinaison, produisent le polyèdre composé (*fig*. 9), qu'on appelle quelquefois *cubo-octaèdre*. Dans la figure 10, aux deux solides précédents se joignent les faces *b* du dodécaèdre rhomboïdal; il en résulte un solide triple que Haüy désignait par le nom de *triforme*.

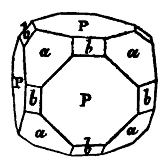


Fig. 10.

Les formes simples les plus fréquemment employées par la nature, et sur lesquelles il est utile de donner, dès à présent, quelques notions, sont : le *prisme* (1), l'*octaèdre* et le *rhomboèdre*.

Prisme. — Le prisme est un solide à deux bases égales et parallèles, dont les faces latérales sont des parallélogrammes

(1) Plusieurs minéralogistes regardent le prisme comme une forme composée de deux parties dont l'une consisterait dans les faces latérales et l'autre dans les bases. Il est vrai que ces deux ordres de faces peuvent exister séparément dans les combinaisons et qu'on ne les obtient dans la dérivation que par deux modifications simultanées. Toutefois, ces deux éléments que l'on peut distinguer dans tout prisme ne sont pas des formes à proprement parler, et leur réunion est nécessaire pour constituer une véritable forme limitée. Quoi qu'il en soit, nous croyons qu'il est convenable et utile de considérer le prisme pourvu de ses bases comme une forme simple ; c'est même, parmi les solides élémentaires, celle qui est la plus répandue.

(*fig.* 11 et 12). Les arêtes des bases prennent le nom de *basiques*, les autres s'appellent *latérales*; celles-ci sont toutes égales et parallèles. La position normale du prisme est celle dans laquelle ces dernières sont verticales.

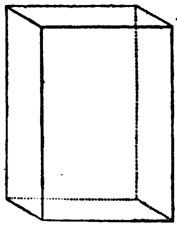


Fig. 11.

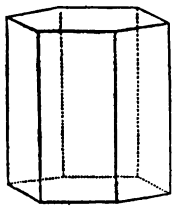


Fig. 12.

Lorsque, dans cette position des arêtes, les plans des bases leur sont perpendiculaires, ou, ce qui revient au même, quand ces bases sont horizontales, le prisme est *droit* et ses faces latérales sont des rectangles. Il est *oblique* dans le cas contraire. L'obliquité ne se manifeste ordinairement qu'en un seul sens; le prisme alors est dit *unoblique*.

Diverses sortes de prismes résultent de la forme de la base. Les plus fréquentes sont le prisme *rhomboïdal* ou *rhombique*, qui a pour base un losange ou rhombe, et le prisme *rectangulaire*, dont la base est un rectangle. Il y a encore le prisme *carré*, qui a pour base un carré. Ce prisme passe au *cube* par l'égalité de ses arêtes basiques et latérales.

Il faut encore citer, parmi les prismes adoptés par la nature, le prisme droit ayant pour base un hexagone régulier (*fig.* 12).

Octaèdre. — L'octaèdre (*fig.* 13) est un solide à huit faces triangulaires. Il se compose de deux pyramides quadrangulaires égales, appuyées sur une base commune. Les sommets de ces pyramides déterminent une droite ou axe à laquelle on donne la position verticale. La base peut être horizontale, auquel cas l'octaèdre est *droit;* si elle est oblique en un ou deux sens, l'octaèdre est alors *unoblique* ou *bioblique :* ce dernier est extrêmement rare.

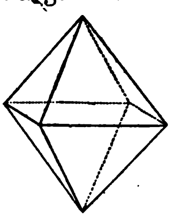


Fig. 13.

La forme de la base d'un octaèdre le spécifie comme nous avons vu que cela avait lieu pour le prisme, et l'on dit qu'un octaèdre est *rhomboïdal* ou *rhombique*, *rectangulaire*, *carré*, suivant que sa base est un rhombe, un rectangle ou un carré.

Lorsque, dans cette dernière sorte, les faces deviennent équilatérales, on a l'*octaèdre régulier* (*fig.* 8), le plus parfait de tous les octaèdres.

Il faut considérer à part, dans l'octaèdre, les arêtes des bases

(*basiques*) et celles qui viennent se réunir aux sommets (*culminantes*). On distingue aussi les angles *basiques* des angles *culminants*.

On a pu remarquer que les prismes et les octaèdres passent par les mêmes phases de symétrie, de telle sorte qu'à chaque genre de prisme correspond un genre d'octaèdre.

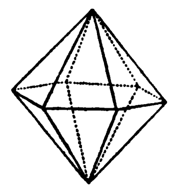


Fig. 14.

Le solide analogue à l'octaèdre qui pourrait correspondre au prisme hexagonal régulier, serait le *dodécaèdre triangulaire* (*dihexaèdre*) *régulier* (*fig.* 14). Cette forme peut être regardée comme étant composée de deux pyramides hexagonales régulières égales réunies par leurs bases.

Rhomboèdre. — Le rhomboèdre (*fig.* 15) est un solide compris entre six faces rhomboïdales parfaitement égales et parallèles deux à deux. C'est donc, à la rigueur, une sorte de parallélipipède; mais il faut le considérer, en minéralogie, comme un hexaèdre d'une espèce particulière. Voici les propriétés principales qui le caractérisent. Parmi ses huit angles solides il n'en est que deux qui soient formés par trois angles plans égaux; ces deux angles se trouvent aux extrémités d'une même diagonale qui est l'axe principal du solide et qu'il faut placer verticalement. Dans cette position, le rhomboèdre a, comme l'octaèdre, deux sommets où viennent se réunir les arêtes *culminantes;* les six autres arêtes, qu'on appelle *latérales*, équidistantes par rapport à l'axe vertical, sont inclinées alternativement dans un sens et dans l'autre, mais de la même quantité, sur un plan horizontal, et se projettent sur ce plan sous la forme d'un hexagone régulier.

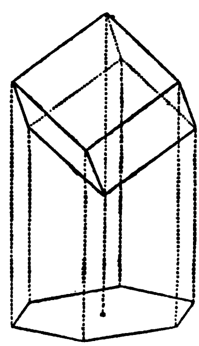


Fig. 15.

Le rhomboèdre est aigu ou obtus, suivant que les angles plans qui forment les angles solides culminants sont plus petits ou plus grands qu'un angle droit. Dans le cas particulier où ces angles sont droits, le rhomboèdre devient un cube.

Les formes dont nous venons de donner une première idée sont les formes habituelles ou courantes de la minéralogie; mais il en

existe encore d'autres que nous ferons connaître à mesure que l'occasion s'en présentera.

Des axes cristallins. — La symétrie d'un cristal se manifeste particulièrement autour de certaines droites que l'on peut tracer ou imaginer dans son intérieur, et que l'on désigne par le nom d'*axes cristallins*.

Un axe s'obtient en joignant les milieux des faces ou des arêtes, ou les sommets d'angles solides opposés.

En général, dans une forme cristalline, il y a plusieurs axes qui se coupent au centre du solide, et dont l'ensemble constitue ce que l'on appelle un *système d'axes*. Parmi les axes d'un système, il en est presque toujours un relativement auquel la symétrie est plus parfaite, et qui indique la position à donner au cristal. On lui donne le nom d'*axe principal;* les autres sont appelés *axes secondaires*. Ainsi, dans le prisme rhomboïdal (*fig*. 16), l'axe principal joindrait les centres des bases; les axes secondaires seraient les droites menées entre les milieux des arêtes latérales. Pour

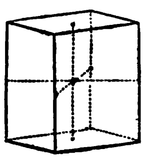


Fig. 16.

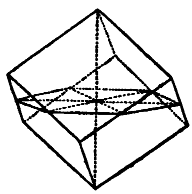


Fig. 17.

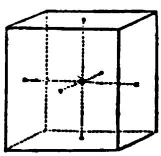


Fig. 18.

avoir les axes secondaires du rhomboèdre (*fig*. 17), il faudrait joindre deux à deux les milieux des arêtes latérales opposées ; la droite tracée entre les sommets des angles culminants serait l'axe principal. Dans le cube (*fig*. 18), les axes s'obtiennent en menant des droites entre les milieux des faces opposées. Ces axes du cube sont égaux et ont tous le même degré de symétrie, et le choix de l'axe principal est arbitraire ; il en est de même dans l'octaèdre régulier et dans les autres solides qui se rattachent au même type.

Le système d'axes peut être considéré comme le squelette des formes qu'un minéral est susceptible de prendre, et notamment de la forme primitive. C'est la partie essentielle de ces formes, et il résume en lui toute leur symétrie.

Disposition des molécules dans le cristal. — Les cristaux sont constitués, d'après ce que nous avons dit précédemment, par l'agrégation de molécules cristallines parfaitement égales, et dont la forme est en rapport intime avec la nature même du minéral. Chacune de ces molécules doit être assujétie à des axes fixes et déterminés qui sont identiques à ceux du cristal lui-même, et il faut admettre qu'elles sont équidistantes et disposées, dans la masse, en files rectilignes ou suivant des plans parallèles, leurs axes étant orientés d'une manière constante suivant les directions des axes du cristal.

Position à donner au cristal ; forme dominante. — Lorsqu'on étudie un cristal, soit pour le décrire, soit pour en faire dériver d'autres formes cristallines, il est indispensable de lui donner une position fixe que l'on peut commodément déterminer par la considération des axes.

Il faut d'abord que l'axe principal soit vertical. Les axes secondaires doivent être ordonnés relativement au plan idéal que l'on suppose toujours exister parallèlement à l'observateur et devant lui. En général, on peut placer l'un d'eux dans ce plan, et, souvent même, lui donner en même temps une position horizontale. La symétrie du cristal indiquera d'ailleurs suffisamment, dans chaque cas, ce qu'il y aura à faire à cet égard. Mais il est bien essentiel de se rappeler qu'une fois la position du cristal fixée, il faut qu'il la conserve pendant tout le temps que l'on s'occupera de sa forme ou de celles qui peuvent s'y rapporter dans une même famille cristalline.

Le cristal étant posé normalement, on en aperçoit aisément la symétrie, s'il est simple, et il est facile de le décrire. S'il est composé, on devra chercher à découvrir, au milieu de toutes les faces et facettes qu'il présente, celles qui jouent le principal rôle, celles enfin dont l'ensemble constituerait une forme simple à laquelle les autres faces seraient pour ainsi dire subordonnées. C'est la *forme dominante*. Une fois cette forme reconnue et décrite, on n'a plus qu'à joindre l'indication méthodique des modifications qui l'affectent. Généralement on procède, dans cette partie de la descripion, du centre du cristal vers les extrémités.

Relations qui lient les formes d'un même minéral. — Si l'on jette sur toutes les formes d'un minéral un

coup d'œil général et comparatif, la première chose qui frappe, sans doute, est leur diversité souvent très-grande ; mais, avec un peu d'attention, on ne tarde pas à reconnaître entre elles certaines analogies et même une espèce de filiation qui permet de les considérer comme constituant, pour ainsi dire, une famille dont les membres sont liés les uns aux autres par des passages. Ainsi, parmi les cristaux de la galène, on trouve des cubes (*fig.* 19) et des octaèdres (*fig.* 20) qui, au premier aspect, paraissent tout à

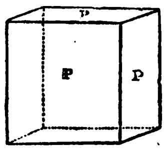


Fig. 19.

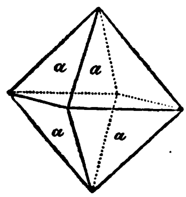


Fig. 20.

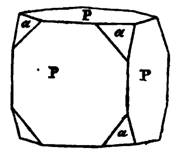


Fig. 21.

fait étrangers l'un à l'autre : mais leur parenté est dévoilée par certains cristaux cubiques qui portent sur leur huit angles solides des facettes triangulaires (*fig.* 21) inclinées comme celles de l'octaèdre régulier, et qui peuvent être aussi et même plus étendues que celles du cube (*fig.* 22 et 23), qu'elles feraient entièrement disparaître si elles prenaient encore plus d'extension, pour donner naissance à un véritable octaèdre.

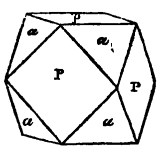


Fig. 22.

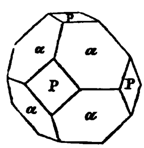


Fig. 23.

De même, des galènes octaédriques peuvent offrir sur leurs six angles des facettes carrées (*fig.* 23) qui, prolongées, produiraient un cube.

Dans l'espèce calcaire, nous trouverons des cristaux ayant la forme d'un rhomboèdre dont l'angle obtus est de 105° comme dans la figure 15, et d'autres configurés en prismes hexagonaux réguliers (*fig.* 24), formes qui paraissent d'abord n'avoir rien de commun. Mais, parmi les prismes de ce minéral, on en rencontrera (*fig.* 25), dont trois arêtes supérieures, 1, 3, 5,

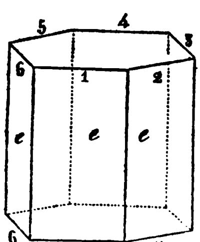


Fig. 24.

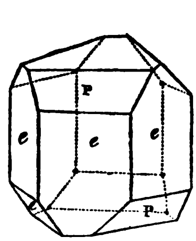


Fig. 25.

et trois arêtes inférieures, 2, 4, 6, alternes avec les premières, seront remplacées par des facettes trapéziennes P. Dans d'autres ces facettes seront développées au point de se rencontrer aux centres des bases de manière à réduire celles-ci à des sommets A (*fig.* 26). En cherchant bien parmi les nombreux cristaux du calcaire, on en trouvera même où les faces *e* du prisme seront réduites à de petits triangles (*fig.* 27). Dans ces derniers le rhomboèdre se dessine si clairement qu'il est impossible de ne pas le reconnaître, et pour l'obtenir dans toute sa simplicité, il suffirait de faire marcher les sommets du cristal l'un vers l'autre, ou de prolonger les faces rhomboédriques jusqu'à la disparition complète des facettes *e*.

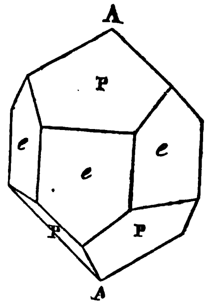


Fig. 26.

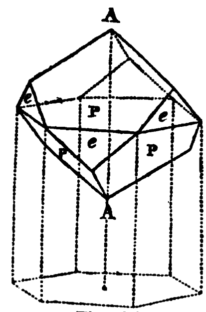


Fig. 27.

Si, maintenant, nous venons à comparer les formes du calcaire avec celles de la galène, nous verrons qu'elles n'ont aucune analogie, et qu'il n'existe pas de passage entre les unes et les autres. Le premier minéral n'offre jamais de cristaux cubiques ou octaédriques, comme la galène, et celle-ci, en revanche, n'admet pas la forme du rhomboèdre ni celle du prisme hexagonal régulier.

Les analogies et les antilogies qui viennent d'être signalées comme exemples pour des minéraux très-connus, existent généralement pour tous les genres de formes, quelles que soient les espèces auxquelles ces formes peuvent se rapporter. Ainsi le cube, considéré d'une manière générale, se lie toujours à l'octaèdre régulier et est incompatible avec un rhomboèdre quelconque, tandis que le rhomboèdre, quel que soit du reste l'angle dièdre de ses faces, peut toujours passer à un prisme hexagonal correspondant.

On trouverait de même que l'octaèdre carré est susceptible d'être naturellement dérivé du prisme à base carrée et qu'il ne saurait coexister, par exemple, avec l'octaèdre à base rhomboïdale.

DÉRIVATION ; SES MOYENS ; SES LOIS ; SES CONSÉQUENCES.

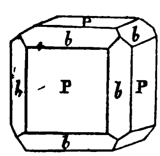
C'est sur les analogies et les incompatibilités que nous avons cher-

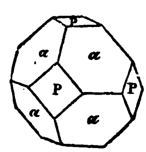
ché à faire pressentir, dans le paragraphe précédent, étendues à tous les genres de formes du règne minéral, que sont établies les catégories auxquelles on a donné le nom de *systèmes cristallins*. Nous allons bientôt en faire une étude toute spéciale ; mais il est indispensable auparavant de faire connaître le moyen de dérivation qui conduit à leur établisement, et d'indiquer les lois qui régissent les dérivations elles-mêmes.

Méthode des troncatures. — Les exemples que nous avons donnés ci-dessus nous ont montré que certaines formes simples pouvaient passer à d'autres par des formes composées intermédiaires. Or, ces formes de passage peuvent aussi être considérées comme résultant de modifications opérées sur certaines parties de la forme simple choisie pour type. Ainsi, dans l'exemple de la galène, la forme composée qui fait passer le cube à l'octaèdre n'est autre chose, en effet, qu'un cube dont tous les angles solides auraient été coupés et remplacés par des facettes triangulaires équilatérales. De même, dans l'exemple du calcaire, le solide de passage (*fig.* 27) s'obtiendrait évidemment par des troncatures verticales faites sur les angles latéraux du rhomboèdre.

L'observation attentive des cristaux naturels a fait voir qu'il y avait lieu de généraliser cette manière de considérer les formes de passage offertes par les cristaux naturels. En effet, toutes peuvent être obtenues artificiellement en exécutant, sur les angles ou sur les arêtes des formes simples, une ou plusieurs modifications qui consistent toutes définitivement en des troncatures qui peuvent être simples (*troncature*), ou symétriquement groupées deux à deux (*biseau*), ou bien trois à trois, quatre à quatre, etc., en pointes sur des angles solides (*pointement*).

La *troncature* proprement dite consiste tout simplement en une section opérée sur une arête ou sur un angle solide qui se trouve alors, l'un ou l'autre, remplacé par une facette. La troncature d'une arête doit toujours lui être parallèle. La figure 28 représente un cube tronqué sur toutes ses arêtes, et la figure 29 un octaèdre régulier portant des troncatures sur tous ses angles solides.


Fig. 28.


Fig. 29.

Le *biseau* se compose de deux troncatures symétriquement pla-

cées de part et d'autre d'une arête ou d'un sommet, d'où résultent deux nouvelles faces ou facettes formant un angle plus ouvert que celui que le biseau a remplacé. Le biseau posé sur une arête entière lui est toujours parallèle. Dans la figure 30 on voit un cube biselé sur toutes les arêtes. Lorsque c'est un sommet qui est affecté par un biseau, on appelle celui-ci *culminant*, et, dans ce cas, il peut être encore *direct ou indirect* suivant que les troncatures qui le composent sont posées sur les faces ou sur les arêtes qui entrent dans la constitution du sommet modifié. La figure 31 offre un exemple de biseau culminant indirect.

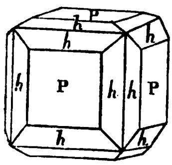


Fig. 30.

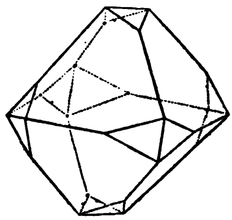


Fig. 31.

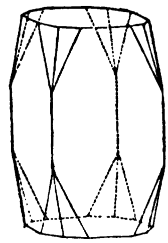


Fig. 32.

Il y a encore des biseaux *obliques*. Ces derniers affectent ordinairement des extrémités d'arêtes à l'endroit des angles solides, dans les prismes. La figure 32 en offre un exemple dans le prisme à base carrée.

Le *pointement* se fait au sommet d'un angle solide par plusieurs troncatures (au moins trois) symétriques, portant, soit sur les plans (*direct*), soit sur les arêtes (*indirect*). Son effet définitif est de remplacer l'angle sur lequel il agit par une nouvelle pointe surbaissée. La figure 33 représente un octaèdre carré dont les som-

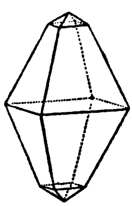


Fig. 33.

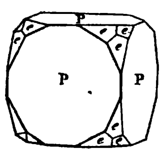


Fig. 34.

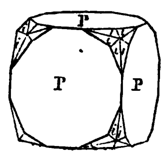


Fig. 35.

mets sont affectés d'un pointement direct à quatre facettes ; et la figure 34 un cube épointé sur tous les angles d'une manière indirecte.

Enfin il existe des pointements *doubles*. Ces derniers peuvent

être considérés comme des pointements indirects dans lesquels les arêtes qui aboutissent à un angle solide s'y trouvent modifiées, non plus par des troncatures, mais par de petits biseaux obliques. L'exemple représenté figure 35 consiste en un cube portant un pointement double sur tous ses angles solides.

Pour arriver, par les modifications exécutées sur un type, aux formes complètes qu'elles représentent, pour ainsi dire, à l'état naissant, il suffit de prolonger les plans des troncatures, des biseaux ou des pointements, jusqu'à ce qu'ils se rencontrent entre eux en masquant les faces du solide primitif, ou bien d'entamer de plus en plus ce solide par des plans parallèles jusqu'à sa disparition complète. On pourrait même se dispenser des modifications initiales et les remplacer par des plans tangents, qui leur seraient parallèles, passant par les arêtes et par les sommets.

Par les deuxième et troisième moyens, on obtient des solides dérivés exactement de même forme, mais ayant des volumes différents et qui sont en quelque sorte, sous ce rapport, des limites entre lesquels se trouveraient tous les solides semblables auxquels on pourrait arriver par le prolongement des plans de modification ordinaires.

Le troisième procédé, qui sort un peu de la méthode des troncatures et qu'on pourrait appeler *méthode des plans tangents*, conduit à des formes dérivées enveloppantes ou tangentes ; tandis que par l'emploi du deuxième moyen on arrive à un noyau intérieur.

Du reste, que l'on se serve de l'un de ces deux modes extrêmes ou des modifications intermédiaires, pourvu que les plans de dérivation soient parallèles et que leur position relative ne varie pas, on arrivera toujours à la même forme, et c'est là le seul résultat intéressant, car le volume importe peu dans la question qui nous occupe.

Un exemple aidera à faire comprendre ces généralités. Soit un prisme droit à base carrée A H (*fig.* 36), et supposons qu'on exécute, sur les arêtes de ses bases, de simples troncatures également inclinées, la valeur de l'inclinaison étant du reste arbitraire, on obtiendra le résultat représenté figure 37, qui consiste en un prisme carré A′ H′, nécessairement plus court que le type, terminé par deux troncs de pyramides parfaitement égaux ayant pour petites bases des carrés *a b c d, a′ b′ c′ d′*, situés dans le plan des bases initiales.

Dans le but d'obtenir le solide dérivé auquel les huit nouvelles faces telles que *a b A′ B′* pourraient donner lieu, prolongeons-les, de part et d'autre, tant au-dessus de la base supérieure qu'au-dessous de la base inférieure ; elles se rencontreront, dans le cas qui nous occupe, les unes au point *S* et les autres en *S′*, de manière à produire deux pyramides symétriques parfaitement égales. Supposons maintenant les plans de modification prolongés dans l'autre sens, c'est-à-dire à la rencontre les uns des autres, ils se couperont évidemment deux à deux suivant les droites XY, YZ, etc., dont la réunion composera un carré XYZU perpendiculaire à l'axe et passant par le centre même du prisme primitif. Or, ce carré pourra être considéré comme la base commune des deux pyramides dont l'ensemble constituera un octaèdre à base carrée ayant pour sommets S et S′. Telle est la forme dérivée à laquelle on parvient au moyen de simples troncatures posées sur les arêtes basiques du prisme carré.

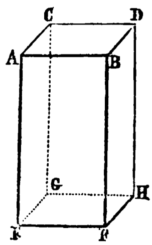


Fig. 36.

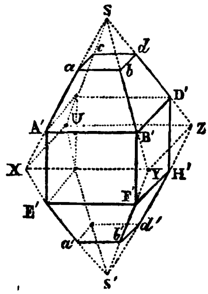


Fig. 37.

Il est de toute évidence qu'on arriverait à une forme tout à fait semblable, en partant des modifications que nous venons de prolonger, et en continuant à tronquer le solide (*fig.* 37) par des plans parallèles équidistants. Ces plans, à mesure qu'ils avanceraient vers le centre, laisseraient sur les bases du prisme primitif des carrés *a b c d*, *a′ b′ c′ d′* de plus en plus petits, et il est facile de voir qu'il arriverait un moment où les carrés se trouveraient réduits, de chaque côté, à un seul point, S ou S′ (*fig.* 38), qui n'est autre chose que le centre de la base primitive.

D'un autre côté, les arêtes telles que A′B′, E′ F′ (*fig.* 37) des bases des pyramides supérieures et inférieures marcheraient de plus en plus les unes vers les autres en se rapprochant de la section moyenne du prisme. Supposons, pour plus de simplicité, qu'au moment où les carrés *a b c d*, *a′ b′ c′ d′* se réduisent à des points, les bases des nouvelles pyra-

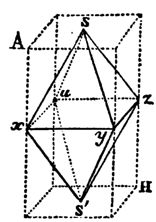


Fig. 38.

mides se confondent avec là section moyenne $x\ y\ z\ u$ (*fig.* 38) (c'est le cas où l'octaèdre dont il s'agit serait le conjugué du prisme), la forme primitive aurait alors entièrement disparu et l'on trouverait à sa place un octaèdre carré (*fig.* 38) semblable à celui de la figure 37, mais plus petit. On aurait pu l'obtenir d'un seul coup en traçant d'abord sur le prisme A H la section moyenne $x\ y\ z\ u$ (*fig.* 38), et en faisant passer ensuite des plans coupants par les côtés de cette section et par les centres des bases S et S′.

L'octaèdre, auquel nous venons d'arriver, ainsi que le montre la figure 38, joue le rôle de solide inscrit ou de noyau dans le prisme primitif. Pour avoir un octaèdre enveloppant ou tangent semblable à celui-ci, il suffirait de mener, par les côtés de chaque base, des plans parallèles aux précédents. L'octaèdre SPQRT (*fig.* 39) qui résulte de cette construction aurait ici des dimensions doubles de celles du solide inscrit (*fig.*38).

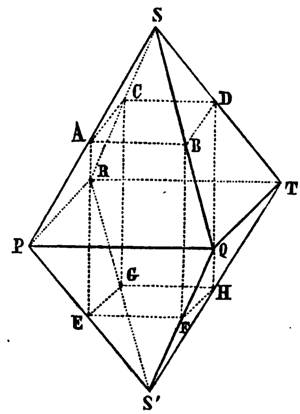


Fig. 39.

On peut remarquer, dans la figure 39, que la pyramide SABCD, posée sur la base supérieure du prisme, est égale à la moitié de l'octaèdre inscrit (*fig.* 38), où, en d'autres termes, que si l'on rapprochait par la pensée jusqu'au contact, la pyramide inférieure S′ E F G H (*fig.* 39) de celle qui vient d'être indiquée, on arriverait à l'octaèdre inscrit tout entier. D'où il résulte que, pour obtenir l'octaèdre dérivé qui résulterait des troncatures poussées jusqu'à leurs dernières limites, il suffirait de mener par les arêtes de la base supérieure et avec l'inclinaison voulue, des plans tangents, et de les prolonger, seulement par en haut, jusqu'à leur rencontre mutuelle ; on aurait ainsi un demi-octaèdre, que l'on pourrait compléter par une pyramide égale à la première, appuyée sur la même base, mais dans une position renversée. Ce dernier procédé, le plus rapide de tous, conduit à des formes d'un volume proportionnel à celui du type ; nous nous en servirons fréquemment.

Le moyen simple et ingénieux de dérivation que nous venons de faire connaître est dû à Romé de l'Isle. Il est évidemment artificiel ; mais on ne doit pas moins le regarder comme très-précieux,

puisque, par son emploi bien entendu, il est possible d'arriver non-seulement aux formes que la nature a offertes jusqu'à ce jour, mais encore à celles qu'elle est susceptible de réaliser et que l'observation n'a pas encore fait découvrir.

Nota. La nature, ainsi que nous l'avons déjà montré plus haut pour la galène et pour le calcaire, offre souvent des formes types affectées par des modifications de diverses espèces. Ces modifications, bien qu'elles ne soient point développées, dans ce cas, au point de produire des solides dérivés complets et qu'elles restent à l'état de facettes accessoires, n'en doivent pas moins être considérées comme représentant les formes dérivées auxquelles ces facettes conduiraient si l'on venait à les prolonger, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, et les cristaux qui présentent des troncatures, biseaux ou pointements de divers ordres, sont, aux yeux du minéralogiste, de véritables formes composées de toutes les formes simples indiquées par les diverses catégories de facettes. C'est ainsi qu'Haüy voyait les choses lorsqu'il appelait *cubo-octaèdre* le cube épointé (*fig.* 40), et lorsqu'il donnait le nom de *triforme* au cristal de galène (*fig.* 41), qui porte en même temps, mais avec un développement incomplet, les faces P du cube, celles (*a*) de l'octaèdre et celles (*b*) dont le prolongement donnerait naissance au dodécaèdre rhomboïdal.

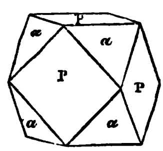


Fig. 40.

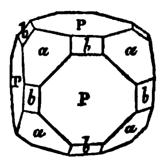


Fig. 41.

Loi de symétrie. — Le simple bon sens suffit pour indiquer que les modifications dont il vient d'être question ne peuvent être portées indifféremment sur des arêtes ou angles quelconques de la forme type, ni affecter arbitrairement les faces qui constituent ces parties. En effet, la nature a suivi, dans les modifications qu'elle nous présente, une symétrie parfaite que nous devons imiter, et dont la loi a été découverte par Haüy. Cette loi, qui régit toute dérivation, s'appelle *loi de symétrie*. On peut la formuler en deux énoncés, de la manière suivante :

1° Les parties identiques sont toutes modifiées à la fois et de la même manière, et les parties non identiques se modifient isolément ou différemment ;

2° Les modifications produisent le même effet sur les faces ou arê-

tes qui forment la partie modifiée, quand ces faces ou arêtes sont égales. Dans le cas contraire, elles produisent un effet différent.

Cette loi entraîne immédiatement les conséquences générales suivantes :

Une arête ou un angle quelconque est toujours susceptible de recevoir une troncature.

Pour qu'une arête puisse être affectée par un biseau, il faut qu'elle se trouve à l'intersection de deux faces égales. La même condition doit être remplie à l'égard des faces ou des arêtes que doit modifier un biseau culminant.

Le pointement n'est réalisable que sur un sommet formé d'angles plans égaux, ou d'arêtes égales, ou qui offre, au moins, trois angles ou arêtes identiques, disposés symétriquement.

Toutes ces conditions se trouvent remplies dans les exemples de modifications qui ont été donnés ci-dessus ; le lecteur pourra les vérifier. Au reste, nous ferons bientôt, en développant les systèmes cristallins, de nombreuses applications de la loi de symétrie qui la lui rendront familière.

Hémiédrie. — La loi de symétrie telle que nous venons de la formuler est générale en tant qu'elle s'applique à des formes considérées d'une manière purement géométrique ; mais la nature matérielle des minéraux cristallisés entraîne avec elle pour un certain nombre d'entre eux une modification exceptionnelle sur laquelle nous appelons sérieusement l'attention de nos lecteurs. Cette exception consiste en ce que, dans certaines espèces minérales, quelques formes simples ne portent que la moitié des modifications qui seraient exigées par la loi de symétrie. Ainsi, par exemple, le minéral nommé *boracite* se présente fréquemment sous la forme de cubes tronqués sur la moitié seulement de leurs angles (*fig.* 42), de telle manière qu'aux extrémités d'une même diagonale, il n'y a jamais qu'un angle tronqué, l'autre restant intact ou modifié différemment.

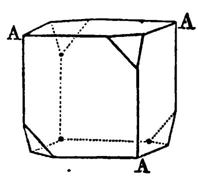


Fig. 42.

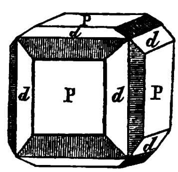


Fig. 43.

Un autre exemple de ce défaut de symétrie se trouve dans la *pyrite*, qui offre des cubes (*fig.* 43) dont les arêtes sont remplacées par des facettes différemment inclinées sur les deux faces adjacentes, ou,

ce qui revient au même, ne portant sur chaque arête qu'une seule face d'un biseau qui, pour obéir à la loi de symétrie, devrait être complété par une autre facette également inclinée et en sens inverse (1).

La plupart des cristaux de la *tourmaline* et de la *chalkopyrite* sont affectés aussi d'une dissymétrie du même genre ; mais l'exemple le plus important est offert par les minéraux qui cristallisent en rhomboèdres, parce que ces minéraux sont nombreux et qu'ils sont susceptibles de prendre des formes qui leur seraient interdites en vertu de la loi de symétrie rigoureusement appliquée. Si l'on se rapporte, en effet, aux figures 24, 25, 26 et 27 déjà données pour lier le rhomboèdre au prisme hexagonal, on remarquera que, en partant de ce dernier prisme, qui est une forme bien complète, on ne peut obtenir le rhomboèdre qu'en tronquant la moitié des arêtes des bases prises de deux en deux alternativement ; car la troncature simultanée de ces douze arêtes conduirait à un dodécaèdre triangulaire régulier (*fig.* 14).

Il faut bien remarquer que, dans tous ces cristaux incomplétement modifiés, l'absence des modifications a lieu constamment sur la moitié des parties similaires qui devraient être toutes affectées à la fois d'après la loi de symétrie ; de là le nom d'*hémiédrie* (ἥμι *à moitié*) qu'on a donné à ce phénomène.

Dans tous les exemples d'hémiédrie connus, les parties privées de modifications suivent un ordre fixe et déterminé qui consiste en une alternance avec les parties modifiées, de telle manière que les troncatures de celles-ci, étant prolongées, peuvent donner naissance à des solides particuliers (*hémièdres*) identiques à ceux qu'on pourrait obtenir par le prolongement de la moitie des faces des polyèdres dérivés au moyen de modifications *holoèdres* (ὅλος, *complet*) ou complètes. Ainsi, en donnant toute l'étendue possible aux quatre troncatures qui affectent souvent les angles de la boracite cubique (*fig.* 42), on obtient le tétraèdre régulier (*fig.* 44) qui résulterait aussi du

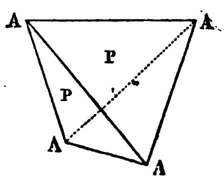
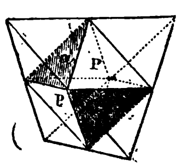


Fig. 44.


Fig. 45.

(1) Dans la figure 42 on a désigné par des hachures celles des facettes qui se trouvent supprimées par l'effet de l'hémiédrie.

prolongement de quatre faces alternes de l'octaèdre régulier, ainsi que le montre la figure 45, et l'on peut dire que le premier solide est l'hémièdre du second. De même, le dodécaèdre pentagonal (*fig.* 46), forme qui résulte du prolongement des modifications dissymétriques signalées dans la pyrite (*fig.* 43), est hémièdre par rapport à l'hexatétraèdre (*fig.* 47) qu'on obtient par un biseellement complet des arêtes du cube, et en effet, on le verrait naître si l'on prolongeait douze faces alternes de ce dernier solide jusqu'à la disparition des autres. De même encore, le rhomboèdre, qui résulterait de la troncature de trois arêtes alternes sur chaque base du prisme hexagonal, doit être regardé comme l'hémièdre du dodécaèdre triangulaire qui serait donné par la troncature complète des douze arêtes basiques du même prisme. La figure 48 montre, en effet, le rhomboèdre prenant naissance par le prolongement et l'intersection mutuelle de six faces alternes du dodécaèdre (celles qui ne sont pas ombrées).

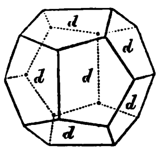


Fig. 46.

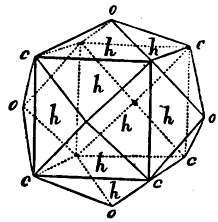


Fig. 47.

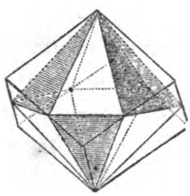


Fig. 48.

Une autre remarque qu'il est important de faire sur cette singulière propriété, c'est qu'elle est constante pour les minéraux qui en sont affectés, et qu'elle introduit, dans leurs systèmes cristallins particuliers, de nouvelles formes caractéristiques. Ainsi, le tétraèdre régulier est une forme possible de la boracite ; elle existe fréquemment dans la panabase ; mais on ne la rencontrera jamais parmi les cristaux de la galène ni de la fluorine. On ne trouvera pas non plus, avec ces derniers, le dodécaèdre pentagonal qui est une des formes dominantes de la pyrite. De même, l'émeraude et l'apatite se présentent souvent cristallisées en prismes hexagonaux réguliers ; mais ces minéraux n'admettent pas le rhomboèdre, qui est, au contraire, très-fréquent dans le calcaire et l'argyrithrose, dont certains cristaux se montrent cependant aussi sous la forme du prisme.

La plupart de ces dissymétries sont connues depuis assez longtemps. Haüy en avait signalé plusieurs et avait remarqué que, dans la tourmaline et la boracite, les parties dissymétriques pren-

nent des états électriques opposés lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur les cristaux qui les présentent; mais M. Weiss, professeur de minéralogie à Berlin, fut le premier qui fit une étude sérieuse de ces formes anormales et qui les considéra à part dans la classification des cristaux. C'est lui aussi qui créa le mot *hémiédrie* destiné à représenter le phénomène. Toutefois M. Weiss se borna à constater et à formuler le fait sans chercher à en donner une explication quelconque, laissant, pour ainsi dire, planer sur la nature un soupçon d'inconséquence que la philosophie naturelle devait repousser. Il était destiné à M. Delafosse, professeur de minéralogie à la Faculté des sciences de Paris, de démontrer que cette inconséquence est loin d'exister, et que l'ordre de faits qui constitue l'hémiédrie des Allemands rentre dans les conditions de la symétrie, pourvu qu'on y introduise la considération des caractères physiques. En effet, les minéraux cristallisés ne doivent pas être confondus avec de simples formes; on doit y voir des êtres naturels doués d'une structure intérieure régulière et de propriétés physiques variées. A ce point de vue, des cristaux ne paraissent pas toujours identiques quand ils ont seulement la même forme extérieure; car leurs autres propriétés, et notamment leur structure intime, peuvent être très-différentes. Ainsi, pour rentrer dans les exemples que nous avons déjà donnés, si la boracite cubique, au lieu d'être formée par un assemblage de petits cubes, ainsi qu'il arrive pour la galène et le sel marin, est constituée par des tétraèdres disposés en files parallèles aux diagonales du cube (*fig.* 49), comme cela est probable d'après l'ensemble des proprié-

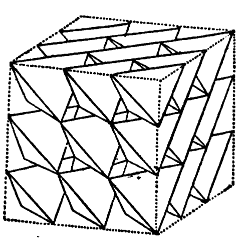


Fig. 49.

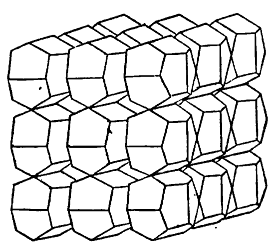


Fig. 50.

tés du minéral, il doit nécessairement arriver que les angles placés aux extrémités de l'une de ces droites subiront des modifications différentes, puisque l'un correspond aux sommets et l'autre aux faces des solides élémentaires. Dans un cube qui serait formé

par des molécules ayant la forme du dodécaèdre pentagonal, orientées toutes de la même manière (*fig.* 50) les arêtes culminantes de ces molécules étant disposées, sur les trois faces adjacentes du cristal, en trois sens différents perpendiculaires entre eux, les circonstances ne seraient pas identiques sur ces faces, et, par conséquent, la présence de troncatures simples inégalement inclinées sur chacune des arêtes, serait réellement d'accord avec la véritable symétrie. Enfin, si l'on considère deux prismes hexaèdres réguliers de mêmes dimensions et que l'on suppose l'un composé de molécules prismatiques et l'autre de petits rhomboèdres, on verra que le premier aura toutes les arêtes basiques et les angles dans les mêmes conditions, tandis que, dans l'autre, ces arêtes ou angles offriront deux genres de structure, différence qui entraînera l'hémiédrie qui seule peut donner naissance à la forme rhomboédrique.

Nous nous bornons à indiquer ici ces exemples sur lesquels nous reviendrons lorsque nous traiterons des systèmes cristallins.

Loi de rationalité des axes. — La nature, si sobre et si méthodique dans l'emploi des substances qui constituent les minéraux, s'est également imposé, dans la formation des cristaux, des conditions de simplicité et de régularité qui réduisent beaucoup le nombre des formes possibles définitivement réalisées. D'abord, les genres de formes simples adoptés par elle sont peu nombreux, nous l'avons déjà dit et nous le prouverons en traitant des systèmes; mais ces genres eux-mêmes, malgré leur petit nombre, auraient pu donner lieu à une grande multiplicité d'espèces par la variabilité de l'inclinaison des troncatures que permet la loi de symétrie, si la nature n'avait soumis ces inclinaisons à une loi dont nous allons donner une idée et qu'on peut appeler *loi de rationalité des axes.*

Si l'on prend, par exemple, un prisme droit à base carrée et qu'on imagine des troncatures symétriques sur les arêtes de ses bases, il est évident que ces facettes, prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle, produiraient deux pyramides qui remplaceraient les bases et dont la combinaison donnerait naissance à un octaèdre à base carrée (voir la figure 37). Rien n'empêche de remplacer cet octaèdre par un solide tout semblable, mais qui aurait pour base celle du prisme : tel serait l'octaèdre S A B C D dans la

figure 39 ; cette substitution étant faite, le nouvel octaèdre aura une certaine longueur d'axe. Soit maintenant ABCD (*fig.* 51) une section verticale du prisme passant par l'axe, et parallèle aux faces postérieure et antérieure ; si, à partir du point O, centre de la base supérieure, nous portons sur le prolongement de l'axe une longueur OS égale au demi-axe de l'octaèdre, et si nous joignons le point S aux points A et B, le triangle ASB représentera la section d'une pyramide qui serait la moitié de l'octaèdre dont il s'agit. L'angle SAB mesure l'inclinaison de la face de l'octaèdre sur la base du prisme. Or, la loi de symétrie autorise, pour cet angle, une valeur quelconque, puisque les plans AB et AD ne sont pas égaux ; il semble donc qu'il pourrait y avoir un nombre infini d'octaèdres dérivés du même prisme. Cependant, si l'on vient à consulter la nature, on reconnaît bientôt que cette multiplicité de formes n'entrait pas dans ses vues, et que, bien au contraire, pour un prisme donné, ou, en d'autres termes, pour chaque minéral cristallisant en prisme carré, le nombre des octaèdres dérivés de la troncature des arêtes est très-limité, et que ceux dont elle a réalisé l'existence ont, *pour une même base*, des longueurs d'axes liées entre elles par des rapports très-simples, comme celui de 1 à 2 à 3, ou de 1 à $^1/_2$, $^1/_3$, ou enfin de 2 à 3.

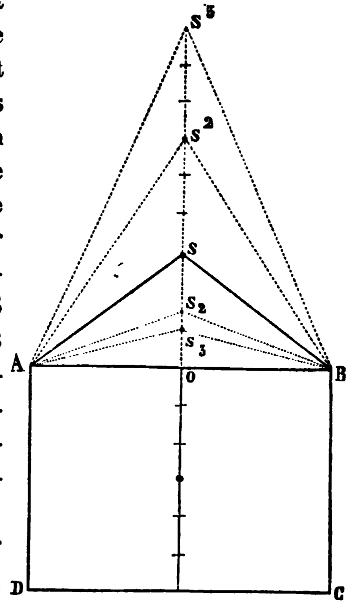


Fig. 51.

Dans l'exemple que nous avons choisi, l'axe du prisme étant égal à 6, nous pouvons supposer que l'octaèdre a aussi cette longueur d'axe, de sorte que la distance OS se trouvait être égale à 3. Eh bien ! dans ce cas, les octaèdres plus aigus, S^2 AB, S^3 AB, auraient pour demi-axes 6 et 9, et les mêmes dimensions, pour les octaèdres plus obtus, S_2 AB, S_3 AB, seraient $^3/_2$ et 1. Les solides intermédiaires dont les axes ne seraient liés aux précédents que par des rapports plus complexes ne se rencontrent jamais dans les cristaux naturels dérivant du même type.

L'idocrase et le zircon, par exemple, se présentent assez fréquemment en cristaux qui réalisent un ou plusieurs de ces octaèdres indiqués par la loi précédente. Dans la première espèce, on trouve l'octaèdre principal dont l'axe est 1, et ceux qui ont pour longueur 3 et $^1/_3$. Le zircon offre la série 1, $^1/_2$, $^1/_3$.

Les octaèdres droits qui dérivent du prisme orthorhombique sont assujétis aux mêmes limites et à la même loi (topaze, série 1, 2, 3). Il en est de même des dihexaèdres ou dodécaèdres triangulaires auxquels conduisent les modifications des arêtes basiques du prisme hexagonal régulier (apatite, série 1, $^1/_2$; émeraude, série 1, 2).

La loi de rationalité s'applique encore aux octaèdres qui naîtraient de plans menés par les angles des prismes que nous avons supposés modifiés jusqu'à présent sur leurs arêtes. Ces nouveaux octaèdres qui, relativement aux précédents, occupent une position alterne, forment entre eux des séries aussi limitées et aussi simples que celles qui viennent d'être citées (1).

La loi se manifeste encore dans les minéraux qui cristallisent en rhomboèdres. Ainsi, dans l'espèce calcaire, on trouve, outre le rhomboèdre fondamental, dont l'angle est de 105°, des rhomboèdres secondaires dont le nombre est fort limité par la condition de satisfaire à des rapports très-remarquables que nous aurons l'occasion d'indiquer plus tard.

Les principales formes qui se rapportent au cube sont tellement parfaites de symétrie et de régularité qu'elles ne peuvent éprouver aucune variation. Telles sont : le cube, l'octaèdre régulier, le dodécaèdre rhomboïdal ; mais cette série comprend quelques polyèdres susceptibles de varier par la longueur des axes (trapézoèdre, hexatétraèdre). La loi de symétrie permettrait d'admettre un nombre indéterminé d'espèces pour chacune d'elles ; mais la nature en offre seulement quelques-unes dont les axes sont dans des rapports très-simples avec celui du cube fondamental. Le seul trapézoèdre fréquent est celui de l'amphigène et du grenat, dont l'axe est double de celui du cube ; pour l'hexatétraèdre, que la

---

(1) Il est bon de dire ici que plusieurs de ces octaèdres peuvent exister à la fois sur le même cristal sous forme de facettes, un seul, celui du sommet, ayant pu se développer assez pour former une pointe. La même remarque s'applique aux dihexaèdres et aux rhomboèdres.

nature offre le plus souvent (fluorine, or), le rapport de l'axe avec celui du cube est $^3/_2$.

La loi de rationalité des axes se manifeste principalement dans les quatre premiers systèmes cristallins. On aura remarqué, sans doute, son analogie avec la loi de rationalité des proportions chimiques (proportions définies, proportions multiples).

Progressions symétriques. — Lorsque dans une forme cristalline prise pour type les diverses parties identiques qui sont ordonnées autour de l'axe principal subissent une série de modifications conformes à la loi de symétrie, il en résulte des facettes et des faces nouvelles, des angles et des arêtes, dont le nombre s'accroît de plus en plus à mesure qu'on ajoute de nouvelles modifications à celles qui existaient déjà. Or, cet accroissement se fait de telle manière que le nombre des parties identiques initiales du type et les nombres semblables relatifs aux cristaux composés qui résultent des modifications successives suivent une progression arithmétique dont le premier terme et la raison ne sont pas les mêmes pour toutes les formes types. Ainsi, par exemple, en partant du prisme carré, où il y a, autour de l'axe, quatre arêtes et huit angles identiques, les modifications marchent constamment par quatre et par huit, et donnent lieu à des solides composés dont le nombre des parties, quelque multipliées qu'elles soient (non compris les faces basiques des prismes), est toujours un de ceux qui composent la progression :

$$\div\ 4 \, . \, 8 \, . \, 12 \, . \, 16 \, . \, 20 \, . \, 24 \ldots$$

Il en serait tout autrement dans la série qui partirait du prisme hexagonal régulier; dans ce cas, toutes les parties produites par les troncatures et les bisellements marcheraient par 6, 12, 18.... suivant la progression arithmétique ayant 6 pour raison et pour premier terme.

J'appelle *symétriques* ces progressions, parce qu'elles sont, comme on le voit, intimement liées à la symétrie des types cristallins. Elles peuvent contribuer à la caractérisation des systèmes, comme nous le verrons ci-après. On peut encore les faire servir de critérium pour éloigner ou rapprocher une forme donnée de tel ou tel type. C'est ainsi que l'on reconnaîtra, à la première

vue, que le prisme à six faces est incompatible avec le prisme carré (1).

DIMENSIONS. FORMES ALTERNES. NOTATIONS SYMÉTRIQUES.

Dimensions des prismes. — On peut faire, dans les cristaux naturels, deux catégories des formes.

Celles de la première sorte, qu'on désigne souvent par l'épithète de *fermées*, sont limitées dans tous les sens et le rapport de leurs dimensions est fixe. Tels sont les octaèdres, les rhomboèdres, les scalénoèdres, qui se trouvent complétement déterminée par la mesure des angles dièdres.

La seconde catégorie se compose des prismes qui, par opposition, ont été nommés *ouverts* par les auteurs qui les considèrent comme réduits à leurs faces latérales indépendamment des bases. Nous pouvons sans inconvénient leur conserver ce nom ; car nous ne voyons pas que la nature ait voulu s'astreindre à la condition de limiter effectivement cette hauteur. En effet, l'observation nous montre pour un même minéral des prismes de toutes longueurs (idocrase, émeraude, tourmaline, amphibole).

De là il résulte que nous n'avons pas de moyen direct de spécifier la forme primitive d'un minéral quand cette forme doit être un prisme. On ne peut donc éviter cette indétermination dans la pratique ; mais on a cherché à s'en affranchir théoriquement au moyen d'une hypothèse très-simple que nous allons indiquer.

On a remarqué que chaque genre de forme ouverte avait une forme fermée correspondante de même base. Ainsi, le prisme carré correspond à l'octaèdre à base carrée, le prisme orthorhombique à l'octaèdre ayant pour base le même rhombe, le prisme hexagonal régulier au dihexaèdre symétrique, qui s'appuie sur un hexagone commun, etc.

---

(1) Nous avons comparé précédemment, d'une manière générale, les cristaux de la minéralogie aux fleurs de la botanique. Les progressions symétriques pourraient nous fournir un trait particulier d'analogie. En effet, le nombre des pétales qui entourent l'ovaire ou le centre de la fleur n'est-il pas assujéti par la nature à faire partie d'une série dont le nombre fondamental constant pour un groupe de genres, varie d'un groupe à l'autre ? On sait que ce nombre est 5 ou 4 pour les végétaux dicotylédonés, tandis que les monocotylés sont régis exceptionnellement par les nombres 3 ou 6, qui semblent correspondre à la série hexagonale, qui joue également un rôle à part en minéralogie.

L'hypothèse dont il s'agit consiste à supposer, ainsi que nous l'avons déjà fait pour le prisme et l'octaèdre S A B de la figure 51, que chaque prisme d'une espèce particulière a pour hauteur celle de la forme fermée qui lui correspond ; de sorte qu'il suffit de connaître un octaèdre, un rhomboèdre, un dihexaèdre, etc., d'un minéral cristallisé pour avoir la hauteur théorique du prisme correspondant qui se rapporte à son espèce. Pour exprimer cette parenté, qui unit une forme fermée particulière au prisme de même base qui doit avoir la même hauteur, nous nous servirons du mot *conjugué*. On peut réaliser cette conception en circonscrivant le prisme à la forme fermée qui lui est relative, ainsi que le montrent les figures 52 et 53 pour les deux cas que nous avons cités.

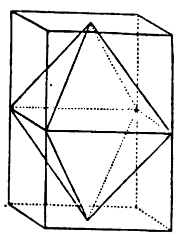


Fig. 52.

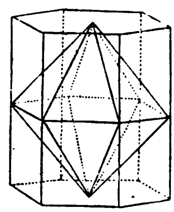


Fig. 53.

Donnons un exemple pour chacune des deux formes que représentent ces figures.

Le zircon et la cassitérite (étain oxydé, H.) ont l'un et l'autre pour forme primitive un prisme carré ; mais il arrive souvent que ces prismes sont terminés par des pyramides qui appartiennent à des octaèdres très-différents puisque pour la première espèce le rapport qui existe entre le côté de la base et la hauteur est 10 : 9, tandis que ce rapport est 3 : 2 pour l'autre ; ces rapports indiquent les dimensions relatives de deux prismes comme on le voit fort différents. C'est par un moyen semblable qu'on trouve les rapports déjà cités de 1 : 1 pour le prisme hexaèdre de l'émeraude et de 10 : 7 pour celui de la pyromorphite.

Quelques facettes posées autour de la base d'un prisme suffisent pour permettre de construire la forme fermée conjuguée qui donne la hauteur cherchée (1).

Il est bien entendu qu'ici, comme en général dans toutes les considérations cristallographiques, il ne s'agit pas de dimensions absolues, mais seulement du rapport qui doit exister entre la hauteur du prisme et les dimensions de la base, rapport qui, joint à

(1) La cristallographie en partant des inclinaisons de ces facettes mesurées au goniomètre, conduit, par le calcul, avec plus de précision, au résultat que nous supposons obtenu ici, pour plus de simplicité par une construction géométrique.

la valeur des angles dièdres, est nécessaire et suffisant pour définir le solide.

Les formes du système régulier échappent à cette indétermination par leur extrême régularité, qui entraîne l'égalité des dimentions dans le sens de tous les axes.

Formes alternes. — Deux formes identiques se rapportant au même type placé normalement peuvent différer seulement par leur position cristallographique, et doivent être regardées alors comme ayant chacune une existence distincte. Si l'on considère l'une de ces formes comme immédiate ou *directe*, l'autre se trouve placée relativement à celle-ci d'une manière *alterne* et prend alors cette dernière qualification (1). En général, les faces de la première forme correspondent aux arêtes de la seconde et réciproquement.

La considération des formes alternes, loin d'être indifférente, est véritablement nécessaire en cristallographie, et cette nécessité ressort particulièrement d'une circonstance que nous allons indiquer. C'est que les formes, dont il s'agit, combinées avec les formes directes de même espèce, donnent toujours naissance à des solides nouveaux qui doivent être regardés comme des formes composées.

Que l'on vienne, par exemple, à opérer des troncatures sur les arêtes latérales du prisme carré projeté en AAAA (*fig.* 54), il est évident que ces troncatures, poussées au point de devenir égales aux restes des faces primitives, donneraient par leur prolongement et leur intersection mutuelle, un nouveau prisme carré, A′A′A′A′, identique au premier, mais placé de telle manière que les axes secondaires xx', yy', au lieu de joindre les milieux des faces latérales, passeraient par le milieu de ses arêtes. Dans cette position du prisme dérivé ses faces correspondraient aux arêtes du type, et ses arêtes aux faces. Ce dernier prisme étant considéré comme *direct*, l'autre serait *alterne*, et la combinaison de ces deux formes

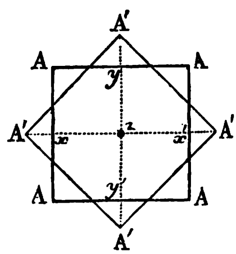


Fig. 54.

(1) La plupart des auteurs se servent du mot *inverse* qui nous paraît moins expressif et dont l'emploi, d'ailleurs, a été fait par Haüy dans d'autres circonstances.

donnerait naissance au prisme ayant pour base l'octogone régulier.

.Si, pour donner un second exemple, nous prenons le tétraèdre régulier (*fig.* 55), et si nous supposons que les troncatures *a*, qui ne sont qu'indiquées dans la figure 56, soientpoussées assez avant pour venir se rencontrer au milieu des arêtes du type, ainsi qu'on le voit dans la figure 57, les faces secondaires résultant de cette modification, prolongées au point de faire disparaître les faces primitives, produiraient un nouveau tétraèdre (*fig.* 58) identique au premier, ayant les mêmes axes que lui, mais dans une position alterne.

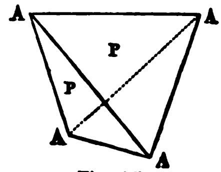


Fig. 55.

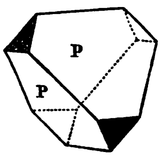


Fig. 56.

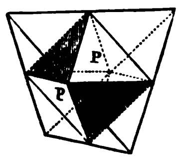
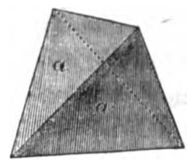


Fig. 57.


Fig. 58.

Dans ce dernier exemple, l'octaèdre régulier (*fig.* 57) est le solide composé qui résulte de la combinaison du tétraèdre direct et du tétraèdre alterne.

Nous emploierons encore les noms *direct* et *alterne* pour désigner, d'une manière générale, non plus des solides d'une espèce déterminée, mais simplement des positions relatives occupées par des formes du même genre. C'est ainsi que nous appellerons *directs* tous les rhomboèdres secondaires dont les faces correspondent à celles d'un rhomboèdre primitif, et *alternes* ceux qui ont leurs faces dans la position des arêtes du type, quelles que soient d'ailleurs les valeurs d'angles de ces solides dérivés. C'est encore dans ce sens qu'on pourra faire usage du mot *alterne* pour caractériser la position des faces inférieures d'un rhomboèdre comparées aux faces supérieures.

Notations symétriques. — La symétrie d'une forme fondamentale ne se montre pas toujours clairement à la simple inspection d'une figure en perspective. C'est pourquoi Haüy avait imaginé d'accompagner cette figure d'une notation pour suppléer à cette insuffisance. Il est nécessaire de faire connaître cette nota-

tion, parce que nous aurons fréquemment, par la suite, l'occasion de nous en servir.

Pour désigner les faces, on emploie les trois lettres majuscules P, M, T, consonnes principales du mot PRIMITIF, dans l'ordre où je viens de les écrire. Ainsi, un type dont toutes les faces seraient égales, devrait porter, sur chacune d'elles, la lettre P (exemples : le cube, le rhomboèdre). S'il offrait deux sortes de faces, l'une des sortes (ordinairement les bases dans les prismes) serait désignée par P et l'autre par M (exemples : prisme hexagonal, prisme carré). D'où l'on voit que l'on n'a besoin de se servir des trois lettres que pour les solides, moins symétriques, où il faut distinguer trois sortes de faces (prisme rectangulaire unoblique). Les angles solides se désignent par les premières voyelles majuscules de l'alphabet : A, E, I. Lorsque tous les angles sont égaux, on n'emploie qu'une de ces lettres, la première (cube, prisme carré); on ne fait usage de la deuxième et de la troisième que dans les cas où le solide offre deux ou trois espèces d'angles. Enfin pour les arêtes, on a recours aux premières consonnes majuscules B, C, D, en suivant les errements que nous venons d'indiquer pour les faces et pour les angles solides; c'est-à-dire que la première lettre seule doit servir à désigner toutes les arêtes, si ces arêtes sont identiques (cube, octaèdre régulier), la deuxième lettre ne devant être employée que dans le cas où il y a deux sortes d'arêtes à représenter (rhomboèdre), et la troisième quand il y en a trois sortes (octaèdre rectangulaire droit). Pour les arêtes latérales des prismes, on se sert ordinairement des lettres H, G, L, la lettre H étant souvent réservée pour les arêtes identiques des prismes droits qui jouent le rôle de hauteur.

Dans les cas d'hémiédrie, où des parties identiques géométriquement ont néanmoins une structure différente, nous noterons la conformité en employant la même lettre ; mais la différence physique sera indiquée par un accent. Ainsi, dans le cube de la boracite dont l'hémiédrie a été déjà mentionnée, quatre angles alternes portant la lettre A, les quatre angles opposés seront désignés par A′.

Il est bon aussi de noter d'une manière claire et brève, dans les figures de cristaux, les faces ou facettes secondaires qui viennent modifier ou remplacer les parties de la forme primitive. Haüy se servait de petites lettres pour cette notation, sans s'astreindre d'ailleurs à aucune règle générale. Nous suivrons encore ici son

exemple ; mais nous choisirons, autant que possible, la lettre minuscule correspondant à la majuscule de la partie modifiée. Ainsi, il nous arrivera fréquemment de représenter par *a* une facette produite par la troncature de l'angle A, et par *b* celle que l'on aurait obtenue en tronquant une arête B. Il va sans dire que la même lettre doit servir pour toutes les facettes qui résultent d'une même espèce de modification. Nous reviendrons sur ce sujet à l'article où il sera question des formules cristallographiques.

SYSTÈMES CRISTALLINS.

Notions générales. — En appliquant aux cristaux simples, considérés comme des formes purement géométriques, la méthode des troncatures et se conformant à la loi de symétrie et à la loi de rationalité des axes, on peut arriver théoriquement à un très-grand nombre de formes. Cependant toutes ces formes possibles, dont la nature n'a réalisé d'ailleurs qu'une partie, ne constituent réellement que six catégories auxquelles on a donné le nom de *systèmes cristallins*. Le trait fondamental de ces systèmes est celui-ci : que toutes les formes qui appartiennent à l'un quelconque d'entre eux offrent une symétrie équivalente, ont, pour ainsi dire, un air de famille et sont liées, en effet, si étroitement qu'elles peuvent être déduites, par des modifications symétriques, de l'une d'elles prise pour type, tandis que, entre les formes d'un système et celles d'un système différent, il y a, au contraire, une incompatibilité à peu près absolue.

Chacune de ces familles de cristaux est caractérisée par une forme simple convenablement choisie, que l'on peut appeler *type*, ou, mieux encore, par les axes ; car, chose bien remarquable, toutes les formes appartenant à un même système sont assujéties à des axes identiques, tandis que d'un système à un autre, il y a, sous ce rapport, des différences essentielles, soit dans la longueur, soit dans la position relative de ces droites.

Il est bon de se servir à la fois de ces deux moyens de caractériser les systèmes, et l'on peut même ajouter encore un trait au tableau de leur symétrie en employant les progressions symétriques. Nous devons avertir toutefois que chaque système n'a pas sa progression; il n'y a lieu de distinguer, pour l'ensemble des formes de la minéralogie, que trois progressions dont les raisons sont : 4, 6 et 2.

Les formes types des systèmes ne sont autre chose qu'une généralisation de la forme primitive, et les systèmes eux-mêmes doivent être regardés comme l'ensemble de toutes les formes et des propriétés cristallographiques des minéraux, embrassé et méthodiquement disposé dans une considération générale. Ces systèmes se trouvent implicitement compris dans les travaux d'Haüy ; mais cet illustre cristallographe ne les avait pas suffisamment dégagés des nombreux cas particuliers qu'il a traités dans sa minéralogie d'une manière réellement magistrale. Ce sont les minéralogistes allemands qui les ont définitivement établis et formulés.

Nous verrons bientôt combien ces systèmes simplifient et facilitent l'étude de la cristallographie, et jusqu'à quel point leur emploi est précieux dans la considération des cristaux naturels. Toutefois, nous ne devons pas dissimuler que les catégories allemandes laissent à désirer à cause du point de vue purement géométrique où se sont placés leurs auteurs. En effet, ne voyant dans les cristaux que des formes et faisant complétement abstraction de leur structure et de leurs autres propriétés physiques, les Allemands ont dû, par cela même, n'attacher qu'une importance secondaire aux formes hémièdres qui doivent leur existence à ces propriétés. C'est une lacune regrettable, car certaines de ces formes jouent dans la nature un rôle important.

A la rigueur, la considération des cristaux hémièdres aurait dû conduire à de nouvelles catégories qui auraient mérité certainement d'occuper une place à part et d'être traitées particulièrement, et c'est ainsi que M. Delafosse a considéré les choses dans sa remarquable thèse sur la structure des cristaux ; mais les auteurs allemands se sont bornés à regarder ces formes hémièdres comme des cas particuliers et exceptionnels des systèmes et à les placer, dans chacun d'eux, à la suite des formes holoèdres correspondantes. Forcé de restreindre, dans cet ouvrage, la cristallographie aux notions strictement nécessaires, nous ne pouvons faire beaucoup plus, bien que nous adoptions au fond les idées de M. Delafosse. Toutefois nous regarderons celles de ces formes qui ont de l'importance et leurs dérivées comme constituant des *sous-systèmes* annexes que nous caractériserons et étudierons dans leurs parties les plus essentielles.

Tableau des systèmes. — Dans le tableau qui suit se

trouvent réunis et classés les systèmes cristallins tels que nous les comprenons, accompagnés des sous-systèmes annexes, caractérisés par leurs axes et par leurs formes types, avec l'indication des formes simples dérivées spéciales.

A l'exemple de MM. Beudant, Delafosse et Dufrénoy, nous avons choisi pour types de formes les prismes préférablement aux octaèdres adoptés par quelques auteurs, et notamment par Haüy, parce que les premiers se prêtent d'une manière plus facile et plus complète à la dérivation et qu'ils jouent plus fréquemment, dans la nature, le rôle de forme dominante.

En jetant un coup d'œil sur ce tableau des systèmes, on voit qu'ils s'y trouvent rangés dans leur ordre de symétrie et de régularité, suivant une sorte de progression décroissante à l'égard des axes et de la symétrie des prismes types. On regrettera peut-être que le système hexagonal, auquel nous avons donné la seconde place, interrompe ces curieuses relations. Nous aurions pu éviter cet inconvénient en le plaçant à part à la suite des autres systèmes comme l'ont fait quelques auteurs ; mais nous n'avons pu nous résoudre à prendre ce parti à cause de la symétrie réellement très-grande de ce système qui, d'ailleurs, occupe une place de premier ordre dans la cristallographie des minéraux naturels.

Les sous-systèmes hémiédriques se rattachent aux systèmes par l'identité des axes (1) et par des formes communes ; mais ils s'en distinguent par des polyèdres spéciaux et par la forme des molécules intégrantes. En prenant toujours pour type un solide propre au sous-système et en qui se trouvent résumées et comme satisfaites les conditions hémiédriques qui le caractérisent, nous aurons le grand avantage de pouvoir obtenir, par des modifications absolument symétriques, toutes les formes qui doivent s'y rapporter sans avoir à nous préoccuper ni de la structure ni des propriétés physiques particulières qui sont, en définitive, la cause de l'hémiédrie.

Nous supposerons toujours que, dans chaque système ou sous-système, la forme des molécules intégrantes est identique à celle du type.

---

(1) Il faut excepter toutefois le sous-système trigonal dont la symétrie toute particulière n'exige que la présence d'un axe unique.

TABLEAU DES SYSTÈMES CRISTALLINS.

SYSTÈMES : AXES.	FORMES TYPES.	FORMES SIMPLES DÉRIVÉES SPÉCIALES.
I. SYSTÈME RÉGULIER. Trois axes rectangulaires égaux entre eux.	**Cube.**	Octaèdre régulier ; dodécaèdre rhomboïdal ; trapézoèdre. — Hexatétraèdre ; octotrièdre ; solide à quarante-huit faces.
Sous-système *tétraédrique.*	Tétraèdre régulier.	Tétratrièdre ; trapézoèdre à douze faces ; tétrahexaèdre.
Sous-système *hexadiédrique.*	Hexadièdre.	Dodécadièdre.
II. SYSTÈME HEXAGONAL. Un axe principal perpendiculaire à trois axes secondaires égaux se coupant sous l'angle de 60°.	**Prisme hexagonal régulier.**	Dihexaèdre régulier. Prisme dodécagonal symétrique ; didodécaèdre symétrique.
Sous-système *rhomboédrique.*	Rhomboèdre.	Scalénoèdre.
Sous-système *trigonal.* (Un axe unique).	Pyramide triangulaire droite, à base équilatérale.	Prisme triangulaire droit ; prisme hexagonal symétrique.

III. SYSTÈME TÉTRAGONAL. Trois axes rectangulaires : un principal et deux secondaires égaux entre eux.	**Prisme carré.**	Octaèdre carré. Prisme octogonal symétrique ; dioctaèdre symétrique.
SOUS-SYSTÈME *sphénoèdrique*.	Sphénoèdre.	Scalénoèdre à huit faces.
IV. SYSTÈME ORTHO-RHOMBIQUE. Trois axes rectangulaires inégaux.	**Prisme ortho-rhombique.**	Octaèdre ortho-rhombique. Prisme rectangulaire droit ; octaèdre rectangulaire droit.
V. SYSTÈME UNOBLIQUE. Trois axes inégaux dont deux obliques ; le troisième étant perpendiculaire aux deux premiers.	**Prisme rhombique unoblique.**	Octaèdre rhombique unoblique. Prisme rectangulaire unoblique ; octaèdre *idem*.
VI SYSTÈME BIOBLIQUE. Trois axes inégaux et obliques.	**Prisme bioblique à** base parallélogramme.	Octaèdre bioblique à base parallélogramme.

Les sous-systèmes, que nous admettons comme ayant une importance réelle en minéralogie proprement dite, sont au nombre de cinq, ainsi distribués : deux annexés au système régulier, deux au système hexagonal, un au système tétragonal. Les autres groupes du même genre que M. Delafosse a compris dans sa classification (1), ne donnent lieu à aucune forme particulière que la nature ait adoptée ; ils sont d'ailleurs basés sur des hémiédries qu'on ne rencontre que rarement sur certains cristaux. Nous nous bornerons à les indiquer comme cas particuliers des systèmes auxquels ils doivent se rapporter.

Marche à suivre dans l'exposition des systèmes. — L'emploi méthodique et raisonné des troncatures comme moyen de dérivation dans les systèmes cristallins a mis en évidence le fait ou, si l'on veut, le principe suivant :

« Lorsque l'on fait subir à la forme type d'un système, conformément à la loi de symétrie, toutes les modifications dont elle est susceptible, on arrive nécessairement à toutes les formes simples existantes ou possibles qui dépendent de ce système. »

Il suit évidemment de cet énoncé que la meilleure marche à suivre dans l'exposition d'un système cristallin, consiste à faire subir à la forme fondamentale, après en avoir bien reconnu la symétrie, et sur toutes les parties de cette forme qui en sont susceptibles, les trois sortes de modifications indiquées plus haut (troncature, bisellement, pointement). Cette manière de procéder est, dans notre opinion, la plus rationnelle ; c'est en même temps la plus facile et la plus satisfaisante, car elle conduit tout naturellement le lecteur attentif à toutes les formes dont l'ensemble doit constituer le système. Il les voit naître, pour ainsi dire, successivement par l'effet de chaque modification, et il ne lui reste plus, après avoir épuisé toutes les modifications que comporte la symétrie particulière de chaque type, qu'à reconnaître et à rassembler les formes obtenues.

---

(1) *Thèse sur la structure des cristaux* (1840). Dans cette classification, M. Delafosse répartit tous les cristaux naturels dans seize catégories ou *espèces* cristallographiques, distribuées elles-mêmes dans six *genres*. Les espèces caractérisées en tête de chacun de ces genres ne sont autre chose que nos systèmes, et cinq seulement des dix autres espèces correspondent à nos sous-systèmes annexes.

Cette marche que nous avons adoptée, conduit, comme nous venons de le faire voir, à tous les résultats essentiels ; mais, dans une étude plus complète, il faudrait joindre à ces dérivations fondamentales celles qui lient les formes dérivées les unes aux autres, Dans l'exposé rapide auquel nous avons dû nous borner, nous avons seulement indiqué les principales de ces dérivations complémentaires ; mais le lecteur pourra aisément combler les lacunes. Nous ne saurions trop lui recommander cet exercice très-propre à le familiariser avec les moyens de la cristallographie pratique.

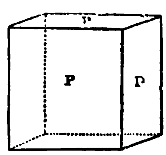
1. SYSTÈME RÉGULIER.

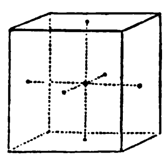
Système cubique : Beudant, Dufrénoy, Delafosse (1).

Nous donnons, avec M. G. Rose, à ce système le nom de *régulier*, parce que ses formes simples principales sont des polyèdres réguliers dans toute la force du terme, et que la symétrie s'y manifeste au plus haut degré possible. Voici le résumé de ses traits caractéristiques :

Trois axes principaux égaux et rectangulaires.
Progression : ÷ 4 . 8 . 12 . 16...
Forme fondamentale : **le cube.**
Molécules intégrantes cubiques.

Forme type. — Le cube (*fig.* 59), que nous avons choisi pour forme fondamentale, est le solide régulier par excellence, et sa symétrie est parfaite. Toutes ses parties, dans chaque catégorie, sont identiques entre elles ; savoir :


Fig. 59.


Fig. 60.

6 faces carrées. — 12 arêtes. — 8 angles solides droits.

De plus, toutes les parties de même sorte sont situées à égale distance d'un point intérieur qui joue le rôle de centre.

(1) Nous avons pensé qu'une synonymie complète serait déplacée dans un cours élémentaire, où tout ce qui n'est pas absolument nécessaire doit être regardé comme nuisible, et nous nous sommes borné à l'indication des noms adoptés avant nous par les principaux minéralogistes français qui ont traité des systèmes.

En joignant deux à deux les milieux des faces opposées, on a les axes (*fig*. 60). Il est facile de voir qu'ils sont égaux entre eux et aux arêtes du cube, et qu'ils se coupent, au centre, en parties égales et à angle droit.

Conformément à l'esprit de la méthode que nous avons adoptée, nous allons exécuter successivement, sur ce type, les troncatures, bisellements et pointements qui doivent conduire aux formes dérivées du système. Nous commencerons par la troncature des angles, parce qu'il en résultera la forme la plus simple et la plus remarquable après celle du cube.

Troncature — *sur les angles*. D'après ce que nous savons de la symétrie du cube, une seule troncature opérée sur l'un de ses angles entraînera des troncatures identiques sur les sept autres. De plus, chacune de ces modifications donnera lieu à une facette *a* (*fig*. 61) également inclinée sur les faces adjacentes P, puisque ces faces sont égales, et, par conséquent, tous les sommets du cube se trouveront remplacés par des triangles équilatéraux *a* parfaitement égaux et disposés, autour des axes, identiquement de la même manière. Si ces facettes sont très-petites relativement à celles du cube (*fig*. 61), la forme fondamentale restera dominante, malgré la modification, et l'ensemble des faces primitives et des facettes modifiantes formera un solide composé auquel on pourra donner provisoirement le nom de cube *épointé*; mais si l'on fait prendre aux facettes une étendue de plus en plus considérable, en entamant plus profondément le solide fondamental (*fig*. 62), il arrivera un moment où celui-ci cédera la prédominance à la nouvelle forme (*fig*. 63), qui régnera exclusivement lorsque les facettes

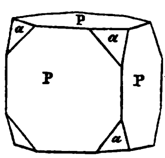


Fig. 61.

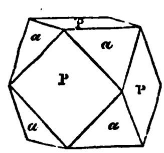


Fig. 62.

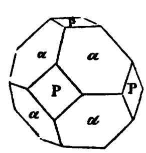


Fig. 63.

modifiantes, en se rejoignant, auront fait disparaître entièrement le cube primitif. Au moment où cette condition sera remplie, il est facile de voir que les sommets du nouveau solide, qui résulteront de la réunion de ses faces prises quatre à quatre, coïncide-

ront avec les centres z, x, y des carrés du cube primitif, c'est-à-dire avec les extrémités des axes cristallins sur lesquels les faces seront également inclinées (*fig.* 64). Les arêtes du polyèdre dérivé se confondront, par conséquent, avec les lignes égales qui joindraient deux à deux les extrémités des axes.

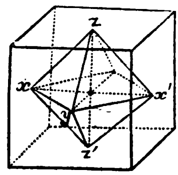


Fig. 64.

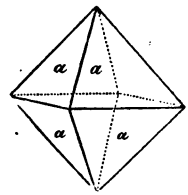


Fig. 65.

De ces considérations, il résulte nécessairement que la forme que nous venons d'obtenir aura pour faces huit triangles équilatéraux a parfaitement égaux : ce sera donc un *octaèdre régulier* (1).

On aurait pu également obtenir cette forme en prolongeant jusqu'à leur rencontre mutuelle les petites facettes résultant des premières troncatures, ou, encore, en menant, par tous les sommets du cube fondamental, des plans également inclinés sur les faces adjacentes. Mais la marche que nous avons adoptée, qui conduit à l'octaèdre inscrit (*fig.* 64), a l'avantage de montrer que la forme dérivée a rigoureusement les mêmes axes que le cube.

Voici les éléments qui caractérisent la forme et la symétrie de l'octaèdre régulier, qui se trouve isolément représenté dans la figure 65 avec des dimensions un peu plus considérables.

8 faces égales a, qui sont des triangles équilatéraux.
6 angles solides quadruples identiques.
12 arêtes égales.

Inclinaison de deux faces adjacentes	109° 28′
— de deux faces opposées à l'extrémité d'un axe.	70° 32′
— de deux arêtes opposées.	90°

— *Sur les arêtes.* Les douze arêtes du cube étant identiques cristallographiquement, la troncature devra les affecter toutes à la fois. De plus, chacune de ces modifications b devra être également inclinée sur les deux plans qui forment l'arête, puisque ces plans

(1) Nous répétons ici que l'on peut considérer les solides qui établissent le passage entre le type et son dérivé comme des formes composées. Parmi ces formes, il faut remarquer celle où les sommets des triangles viennent se joindre au milieu des arêtes du cube (*fig.* 62). On l'appelle souvent *cubo-octaèdre*.

sont égaux. Il résultera de cette première opération une forme de passage (*fig.* 66) à laquelle Haüy donnait le nom de cube *émarginé*.

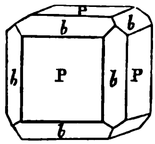


Fig. 66.

On n'obtiendra pas d'autre résultat tant que les facettes produites par les troncatures seront peu développées relativement aux faces P du cube; mais si l'on donne à ces facettes une étendue croissante en entamant de plus en plus la forme fondamentale, il arrivera un moment où l'on verra naître un nouveau solide qui se dessinera définitivement lorsque les troncatures auront pénétré assez profondément pour faire entièrement disparaître la forme du solide primitif. Il est évident qu'on serait arrivé au même résultat plus directement en prolongeant les premières troncatures jusqu'à ce qu'elles eussent, en se coupant, caché le solide fondamental, ou même, en menant, par les arêtes de ce solide, des plans également inclinés de part et d'autre de chacune d'elles et les prolongeant jusqu'à leur intersection réciproque, puisque ces troncatures ou plans tangents sont parallèles aux faces du solide primitivement dérivé et placés d'une manière identique.

Pour nous rendre bien compte de la nouvelle forme, employons le dernier moyen dont l'effet est très-sensible dans la figure 67, et voyons d'abord ce qui se passe relativement à une seule face du cube, la base supérieure par exemple. Cette partie du solide nous offre évidemment quatre plans partant des arêtes et s'élevant à la rencontre les uns des autres en affectant la même inclinaison; d'où il résultera une pyramide quadrangulaire droite ayant pour base le carré que nous considérons, pour sommet le point *o* situé sur l'axe, et pour faces quatre triangles isocèles. La même chose aura lieu sur chacune des autres faces du cube; et comme ce dernier solide a six faces, on serait tenté de conclure que le polyèdre dérivé devrait se composer de vingt-quatre faces triangulaires; mais on reconnaîtra bientôt que ce nombre doit se réduire à douze, en se rappelant que deux faces, situées de part et d'autre d'une arête, se trouvent sur un même plan tangent à cette droite. Il n'est pas difficile de voir, d'après cela, que les faces du nouveau polyèdre sont des rhombes égaux, puisque chacune se compose de deux triangles

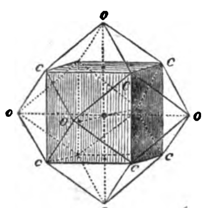


Fig. 67.

isocèles égaux appuyés sur une base commune qui n'est autre chose que la petite diagonale du rhombe.

La forme qui résulte de la troncature des douze arêtes du cube fondamental est donc un dodécaètre à faces rhombes ; on le nomme *dodécaèdre rhomboïdal* ou *rhombique* (1). Ce dodécaèdre, représenté isolément dans la figure 68, a :

Douze faces qui sont des rhombes égaux dont l'angle obtus est de 109° 28′, valeur de l'angle dièdre de l'octaèdre régulier ;

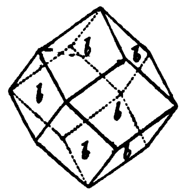


Fig. 68.

Vingt-quatre arêtes identiques cristallographiquement.

Les angles solides, au nombre de quatorze, sont de deux espèces. Il y a en six quadruples qui forment les sommets des pyramides que nous avons remarquées sur les faces du cube ; leur position est analogue à celle des sommets de l'octaèdre. Les huit autres angles sont triples et correspondent aux angles du cube. L'inclinaison de deux faces opposées dans l'angle octaédrique est de 90°, tandis que celle de deux faces qui se coupent est de 120° (2).

En résumé, voici les traits de la symétrie de ce solide :

12 faces rhomboïdales égales (angle obtus, 109° 28′).
24 arêtes identiques.
14 angles solides. { 6 quadruples, octaédriques.
8 triples, cubiques.

Les relations qui viennent d'être indiquées entre le solide que nous décrivons, le cube et l'octaèdre régulier, se manifestent clairement dans les figures 64 et 67. On y voit de plus que les axes des deux solides coïncident avec ceux du cube, et que les arêtes de l'octaèdre se confondraient avec les grandes diagonales

(1) On donne souvent le nom de *cubo-dodécaèdre* aux formes de passage, qui peuvent être regardées, en effet, comme des solides composés des faces du cube et de celles du dodécaèdre.

(2) D'où il résulte que si l'on considérait momentanément comme un axe la droite joignant deux angles triples opposés, le dodécaèdre offrirait l'aspect d'un prisme hexagonal régulier terminé par des pyramides trièdres. Cette forme apparaît d'une manière très-marquée dans certains grenats monstrueux qui se trouvent être allongés ou raccourcis dans le sens de l'axe accessoire que nous venons de supposer.

du dodécaèdre, tandis que les petites diagonales de ce dernier solide correspondent aux arêtes du cube.

La figure 67 montre bien que le dodécaèdre a les mêmes axes que le cube inscrit, sauf la longueur qui est ici double. Cette dernière relation, au reste, se manifeste encore mieux dans la figure 71, que nous allons bientôt rencontrer.

Bisellement. — On ne peut faire sur un cube qu'un seul genre de bisellement : c'est celui par lequel chacune de ses arêtes serait remplacée par deux facettes *h* également inclinées de part et d'autre sur les plans P adjacents. La forme de passage ou composée (*fig.* 69). que l'on obtient de cette manière, est offerte par un certain nombre de minéraux, et particulièrement par la fluorine. Haüy la désignait par l'épithète de *bordée.* Si l'on approfondit les facettes géminées qui produisent les biseaux, ou si l'on prolonge les premières facettes obtenues, ou, mieux encore, si l'on mène par chacune des arêtes du type deux plans parallèles aux faces du biseau, il est facile de voir que l'on obtiendra, sur chaque face du cube, une pyramide quadrangulaire droite, et que l'ensemble des six pyramides ainsi obtenues donnera lieu à une forme à vingt-quatre faces triangulaires isocèles parfaitement égales (*fig.* 70). Ces faces étant disposées par quatre sur les six faces du cube, comme si on avait appliqué une pyramide quadrangulaire sur chacune de ces dernières, on a donné au solide dérivé le nom de *hexatétraèdre.* On le désigne quelquefois aussi par le nom descriptif de *cube pyramidé.* Ses axes s'obtiendraient en joignant deux à deux les sommets *o* des pyramides et se confondraient, pour la direction, avec ceux du cube.

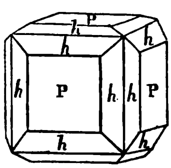


Fig. 69.

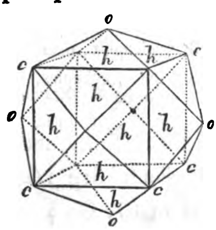


Fig. 70.

L'inclinaison des facettes du bisellement n'étant indiquée, au premier abord, par aucune circonstance, pourrait être considérée comme arbitraire, d'où il résulterait que le nombre des hexatétraèdres de la minéralogie serait illimité ; mais la nature n'en offre que très-peu, et les axes de ceux-ci sont toujours dans un rapport simple relativement à ceux du cube fondamental supposé

inscrit. Pour celui que l'on rencontre le plus fréquemment, comme forme dominante (cuivre, or), ce rapport est celui de 3 à 2.

Cet hexatétraèdre particulier jouit d'ailleurs d'une propriété remarquable qui lui donne un cachet de régularité tout spécial. L'inclinaison mutuelle des faces adjacentes est la même (143° 8′) pour celles qui appartiennent à une même pyramide et pour les faces situées de part et d'autre d'une arête cubique, condition qui entraîne la régularité des angles solides sextuples qui correspondent à ceux du cube.

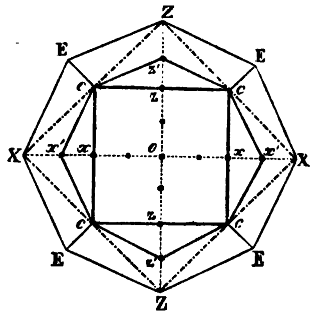


Fig. 71.

La figure 71 en offre la coupe verticale $z'cx'cz'cx'c$, ainsi que celle du cube inscrit et également celle du dodécaèdre rhomboïdal ZXZX, et l'on y voit clairement le rapport indiqué ci-dessus pour les axes.

En général, les hexatétraèdres ont :

24 faces triangulaires isocèles égales.	
36 arêtes.	12 cubiques.
	24 pyramidales.
14 angles solides..	6 octaédriques.
	8 cubiques.

Les arêtes sont de deux espèces, savoir : douze *cc* (*fig.* 70) qui se confondent avec les arêtes du cube (cubiques) et vingt-quatre *oc* qui se coupent sur le prolongement des axes pour former les pyramides. Les angles forment également deux catégories : six quadruples (octaédriques) *o* forment les sommets des pyramides et correspondent aux angles de l'octaèdre régulier. Les huit autres *c* sont sextuples et occupent la position des angles du cube. Nous les désignons, en conséquence, par l'épithète de cubiques. Suivant que les angles de la première ou de la deuxième sorte dominent par une saillie plus prononcée dans le solide dérivé, sa forme accuse à l'œil, l'octaèdre ou le cube ; dans le premier cas, elle pourrait prendre le nom *d'octotrièdre* ou *d'octaèdre pyramidé*.

Pointements. — Les pointements doivent se faire simultanément sur les huit angles du cube fondamental. Ils peuvent être

simples (à trois facettes) ou doubles (à six facettes). Les premiers peuvent même se diviser en deux catégories, savoir : les pointements directs dont les facettes entament directement les faces du cube, et les pointements indirects qui sont formés aux dépens des arêtes.

Pointement simple direct. Prenons trois points (*fig.* 72) à égales distances du sommet, sur les arêtes qui constituent un même angle solide, et joignons ces points, sur chaque face, par des droites qui seront pararallèles aux diagonales. Cela posé, par ces droites faisons passer des plans coupants, qui auront la même inclinaison

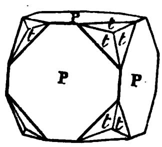


Fig. 72.

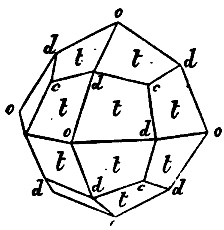


Fig. 73.

sur les faces du cube; il naîtra de cette triple modification une petite pyramide surbaissée, à faces isocèles *t*, remplaçant l'angle droit du cube; ce sera le pointement simple direct relatif à cet angle. La même opération, répétée identiquement de la même manière sur les sept autres angles, comme la loi de symétrie l'exige, produira vingt et une nouvelles facettes *t* qui, étant prolongées jusqu'à leur mutuelle intersection, donneront lieu à un solide (*fig.* 73) composé de 24 faces trapézoïdes, à qui l'on a donné le nom de *trapézoèdre*. Ce solide offre :

24 faces trapézoïdales.	
48 arêtes. . . .	24 octogonales.
	24 cubiques.
26 angles solides.	6 octaédriques.
	8 cubiques.
	12 autres.

On obtient les axes, qui sont les mêmes que ceux du type, en joignant deux à deux les sommets des angles octaédriques.

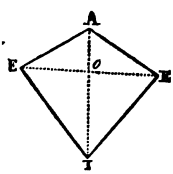


Fig. 74.

Les trapézoïdes (*fig.* 74) qui forment les faces de ce solide dérivé, sont des quadrilatères symétriques à l'égard d'une de leurs diagonales AI, ordinairement la plus grande, qui, par conséquent, se trouve perpendiculaire sur la plus petite EE et la coupe en

deux parties égales. Tous ces quadrilatères sont égaux dans les trapézoèdres et ont deux sortes de côtés AE, EI et trois espèces d'angles, savoir : deux angles terminaux, ordinairement l'un aigu I et l'autre obtus A, et deux angles latéraux E égaux entre eux.

Les quarante-huit arêtes du trapézoèdre sont de deux espèces : vingt-quatre *od* forment des octogones dans les trois plans diagonaux de l'octaèdre régulier (octogonales), et vingt-quatre *cd*, adjacentes aux angles solides, correspondent à ceux du cube (cubiques).

On distingue aussi trois sortes dans les vingt-six angles de ce solide : six angles quadruples *o* formés par les angles aigus I du trapézoïde ; ils correspondent aux sommets de l'octaèdre (octaédriques) ; douze angles quadruples *d* composés d'angles latéraux E des faces, et huit angles triples *c* résultant de la réunion d'angles terminaux obtus A des mêmes quadrilatères. Ces derniers angles solides occupent une position analogue à celle des angles du cube fondamental (cubiques), et les précédents sont en rapport avec les faces du dodécaèdre rhombique.

Pour se rendre compte de la génération de ce solide, il faut mettre en rapport la figure 72 avec celle du trapézoèdre (*fig.* 73) et remarquer que chaque pointement représente un angle cubique *c* du solide dérivé. Les trois petits triangles isocèles *t* qui constituent une de ces pyramides de modification, ne sont autre chose que les angles obtus de trois trapézoïdes correspondants dont l'assemblage forme l'angle cubique. Les sommets opposés *o* des mêmes quadrilatères, ceux qui offrent dans la figure 74 des angles aigus désignés par I, résultent de l'intersection des facettes précédentes prolongées, avec les plans de troncature des angles les plus voisins. Au reste, cette génération est plus facile à comprendre lorsqu'on part de l'octaèdre régulier ; nous y reviendrons.

Le trapézoèdre, de même que le solide étudié précédemment, n'est pas, comme le cube, l'octaèdre et le dodécaèdre rhombique, une forme limite dont la valeur des angles est une et invariable : ici cette valeur peut changer, puisqu'elle dépend de l'incidence indéterminée des facettes initiales du pointement. Cependant l'on ne connaît, parmi les cristaux naturels, que deux ou trois espèces dont une seule se montre assez souvent comme forme dominante ; son axe est double de celui du cube inscrit. On le voit très-bien dans la figure 71 déjà citée, où l'octogone dont les sommets

sont en Z, E, X, représente une des trois séries d'arêtes que nous avons appelées octogonales.

Nous verrons plus loin qu'on peut obtenir ce trapézoèdre spécial par une troncature simple sur les arêtes du dodécaèdre rhombique. On l'appelle souvent *leucitoèdre* tiré de *leucite*, l'un des noms de l'amphigène, espèce qui affecte exclusivement cette forme particulière. Voici les valeurs de ses angles :

Incidences de deux faces de l'angle octaédrique.	109° 28′
— de deux faces contiguës.	131° 49′
— des faces séparées par les arêtes les plus courtes. .	146° 27′

Le trapézoïde (*fig.* 74), qui constitue les faces de ce même solide, a, pour ses angles, les valeurs suivantes :

Angle terminal obtus A.	117° 2′
Chacun des deux angles latéraux E.	82° 15′
Angle terminal aigu I.	78° 28′

Théoriquement, la forme générale du trapézoèdre peut varier dans les circonstances déjà signalées pour l'hexatétraèdre, c'est-à-dire qu'il est susceptible d'offrir un facies sphéroïdal, comme celui de l'amphigène et du grenat, ou voisin du cube ou de l'octaèdre, suivant la prédominance des diverses sortes d'angles solides.

Pointement simple indirect. Le pointement précédent commençait par offrir des facettes triangulaires qui devenaient ensuite trapézoïdes en s'entrecoupant. Ici c'est le contraire qui arrive : les faces initiales *e* formées aux dépens des arêtes de chaque angle solide, sont trapézoïdales (*fig.* 75), et la forme définitive du polyèdre qui résulte de leur intersection mutuelle offre vingt-quatre faces triangulaires isocèles. Cette forme, que l'on appelle *octotrièdre*, se rapporte bien mieux à l'octaèdre qu'au cube, et offre ordinairement l'empreinte du premier de ces types ; nous en reparlerons plus loin.

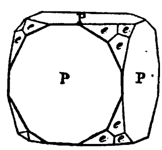
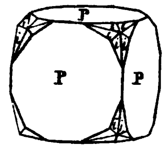
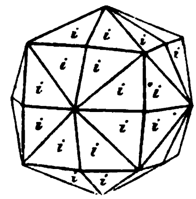


Fig. 75.

Pointement double. Si, au lieu d'effectuer le pointement par trois facettes naissant d'une manière symétrique aux extrémités des arêtes, nous l'opérons par des biseaux obliques formés chacun par deux plans également inclinés de part et d'autre, chaque angle sera remplacé par six facettes triangulaires égales, et le cube se trouvera épointé par un ensemble de quarante-huit

facettes *i* (*fig.* 76). Celles-ci étant poussées assez profondément ou prolongées jusqu'à leur intersection réciproque, donneront naissance à un solide d'un pareil nombre de faces ayant chacune la forme d'un triangle scalène (*fig.* 77).


Fig. 76.


Fig. 77.

Pour nous faire une idée claire de la génération de ce solide, considérons à part les plans qui s'élèveront sur la base supérieure du cube, et nous verrons ceux-ci, au nombre de huit, se couper deux à deux suivant des droites qui se réuniront en un point commun situé sur l'axe, et donner naissance à huit triangles qui auront pour bases les intersections de ces plans avec ceux relatifs aux quatre faces latérales du type. Ce que nous disons de la base supérieure peut s'appliquer à toute autre face. D'où il résulte que l'on pourra considérer la nouvelle forme comme un cube pyramidé et lui donner le nom d'*hexaoctaèdre*.

Mais il peut arriver que l'inclinaison des facettes initiales soit telle, que les sommets des pyramides qui occupent la position des angles de l'octaèdre régulier aient plus de saillie que les angles correspondant à ceux du cube; alors le solide dérivé offrirait le facies d'un octaèdre pyramidé qu'il serait mieux de nommer dans ce cas *octohexaèdre*.

Cette dernière observation nous rappelle qu'il n'y a rien de constant dans l'inclinaison des plans qui conduisent à la dérivation dont il s'agit, et que, par conséquent, on pourrait s'attendre à trouver, dans la minéralogie, beaucoup de solides différents à quarante-huit faces. Heureusement il n'en est pas ainsi; et nous n'en connaissons que fort peu d'espèces, parmi lesquelles trois seulement méritent d'être signalées comme étant assez fréquentes : ce sont celles qui offrent les relations les plus simples entre leurs axes et ceux de la forme fondamentale. L'une d'elles offre cette particularité que les incidences des faces adjacentes sont les mêmes pour les deux sortes d'arêtes qui partent des angles sextuples correspondant à ceux du cube, d'où il résulte que ces angles sont réguliers tandis qu'ils ne sont que symétriques dans tous les autres solides de ce genre. Dans les minéraux peu nombreux présentant cette forme, les faces se trouvent combinées avec d'autres et ne

jouent, en général, qu'un rôle accessoire. On peut citer toutefois le diamant comme offrant le solide à quarante-huit faces seul, mais avec une oblitération qui arrondit les faces et les arêtes. Ces cristaux de diamant ont tous le facies octaédrique.

Les solides à quarante-huit faces se composent de :

48 faces triangulaires scalènes. — 72 arêtes. — 26 angles solides.

Toutes les faces sont égales.

Il a trois espèces d'arêtes : vingt-quatre forment des octogones dans trois plans perpendiculaires passant par les axes ; vingt-quatre correspondent deux à deux aux anciennes arêtes du cube dont ils joignent les angles. Les vingt-quatre autres lient les sommets octaédriques aux angles du cube.

Les angles solides forment également trois espèces : six angles octaédriques à huit angles plans, huit angles cubiques sextuples, et douze angles quadruples qui correspondent aux milieux des arêtes du cube ou des faces du dodécaèdre.

Ce sont les sommets octaédriques qui déterminent les axes ; ceux-ci se confondent naturellement avec ceux du cube.

Dérivations croisées. — Maintenant, nous avons épuisé toutes les modifications que l'on peut faire dans ce système, directement en partant du cube, et ces modifications ne nous ont donné que six formes simples nouvelles. La méthode de dérivation appliquée à chacune de ces dernières nous conduirait absolument aux mêmes résultats. Nous conseillons néanmoins cette application à nos lecteurs. Quant à nous, ne pouvant ajouter ces développements à ceux, déjà trop longs peut-être, que nous venons de donner, nous nous contenterons d'indiquer très-succinctement les traits les plus saillants de ces dérivations pour ainsi dire croisées.

Le cube, qui était le point de départ des modifications qui nous ont conduit à toutes les formes du système, peut être obtenu lui-même, comme solide dérivé, au moyen d'une simple troncature opérée sur les angles de l'octaèdre ou sur ceux que nous avons appelés octaédriques dans le dodécaèdre, dans le trapézoèdre ou dans les solides à vingt-quatre et à quarante huit-faces triangulaires.

L'octaèdre, que nous avons déjà déduit du cube par la troncature des angles solides, pourra être aussi facilement dérivé des

autres formes simples du système, au moyen d'une modification semblable faite sur les angles désignés par l'épithète de cubique.

Dodécaèdre rhombique. Si l'on remarque que les faces de ce solide, déjà tangentes aux arêtes du cube, le sont aussi, mais dans un autre sens, à celles de l'octaèdre, on n'aura pas de peine à concevoir que la troncature de ces dernières arêtes (*fig.* 78) doit conduire au solide dérivé dont il est question. La même forme se déduira du trapézoèdre par la troncature des douze angles quadruples que nous avons vu correspondre aux faces du dodécaèdre.

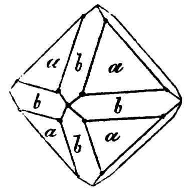


Fig. 78.

Le trapézoèdre peut s'obtenir en partant de l'octaèdre, comme nous l'avons fait en partant du cube, par un pointement direct sur les angles solides. Cette dernière dérivation a, sur la première, l'avantage de faire mieux concevoir la génération de la nouvelle forme et la figure singulière de ses faces. En effet, si l'on suit la marche des facettes sur une face quelconque de l'octaèdre, on voit, d'abord, trois petits triangles isocèles partir des trois angles et s'avancer de plus en plus, à mesure que la modification devient plus profonde, les uns vers les autres, jusqu'à ce qu'ils finissent par s'entrecouper suivant trois droites égales. Chacun de ces quadrilatères aura évidemment pour côtés, d'une part, deux des trois droites dont il vient d'être question, et, d'autre part, deux droites correspondant aux demi-côtés du triangle primitif. La même chose aura lieu sur les sept autres faces du type, et l'ensemble des vingt-quatre trapézoïdes ainsi obtenus, constituera le trapézoèdre. On peut remarquer, en effet, que la figure 73 peut être considérée comme représentant, dans son ensemble, un octaèdre dont toutes les faces auraient été recouvertes d'une pyramide à trois faces trapézoïdales naissant sur les angles.

L'espèce qu'on a nommé *leucitoèdre* peut aussi être dérivée du dodécaèdre par la simple troncature de toutes ses arêtes, résultat dont on se rend compte en remarquant que les facettes du pointement direct, dans le cube fondamental, doivent être tangentes, dans ce cas particulier, aux arêtes du dodécaèdre. On obtiendrait d'autres trapézoèdres par le pointement indirect des angles octaédriques du dodécaèdre.

L'hexatétraèdre, que nous avons fait dériver du cube par des biseaux placés sur ses arêtes, naîtra, sur l'octaèdre, d'un pointe-

ment simple indirect, et sur le dodécaèdre, d'un pointement direct de ses angles octaédriques. On pourrait encore l'obtenir en tronquant les vingt-quatre arêtes octogonales du trapézoèdre.

L'octotrièdre (*fig.* 79) se rapporte bien mieux à l'octaèdre qu'au cube, et il est très-facile de l'en faire dériver : il suffit pour cela de biseler toutes ses arêtes. Il naît alors, sur chaque face, trois triangles isocèles *e* qui forment une pyramide symétrique. L'ensemble des huit pyramides ainsi formées donne l'octotrièdre qu'on pourrait aussi appeler octaèdre pyramidé. Nous donnons ici les éléments de cette forme, les ayant omis à dessein en traitant des dérivations du cube. Ces éléments sont :

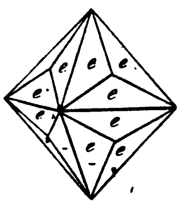


Fig. 79.

24 facettes triangulaires isocèles.	
36 arêtes.	12 octaédriques. 24 pyramidales.
14 angles solides. .	6 octaédriques. 8 cubiques.

L'octotrièdre s'obtiendrait facilement, en partant du dodécaèdre par un pointement simple et direct sur les angles cubiques, et du trapézoèdre, par la troncature de ses arêtes les plus courtes. Cette forme peut offrir des facies très-différents, suivant l'incidence des facettes du bisellement ; mais on n'en connaît, dans la nature, qu'un très-petit nombre d'espèces qui ont en général le facies octaédrique.

Le solide à quarante-huit faces se déduirait de l'octaèdre, comme du cube, par un pointement double ; mais, en général, le résultat de cette dernière dérivation offrirait l'aspect de l'octaèdre et devrait alors prendre le nom d'*octohexaèdre*, au lieu de *hexaoctaèdre* que nous avons été conduit à adopter pour le même solide lorsque nous l'avons fait dériver du cube. Nous avons déjà dit que le diamant offrait un exemple de cette variété de formes. On obtiendrait encore le solide à quarante-huit faces par un double pointement exécuté sur les angles octaédriques du dodécaèdre ou du trapézoèdre, ou par de simples biseaux placés sur les arêtes du premier de ces polyèdres.

Récapitulation du système. — En résumé, on voit

que le système régulier normal ne comporte réellement que sept formes simples, savoir :

Trois formes limites et invariables dans leurs angles :

Cube, octaèdre, dodécaèdre rhomboïdal ;

quatre formes variables dans leurs angles, et dont la nature ne présente que les plus régulières :

Trapézoèdre, hexatétraèdre, octotrièdre.

Solide à quarante-huit faces. { *Hexaoctaèdre.* *Octohexaèdre.* }

Il est à remarquer que les premiers résultent de troncatures nécessairement fixes, tandis que les secondes doivent leur naissance à des bisellements et à des pointements qui se composent de facettes obliques, dont les inclinaisons ne sont indiquées *à priori* par aucune considération fondamentale. Tous les cristaux naturels appartenant au système régulier n'offrent que les sept formes précédentes, seules ou combinées.

Exemples naturels. — La fluorine, la galène, le grenat, le diamant, sont les meilleurs exemples que l'on puisse citer pour le système que nous venons d'étudier. Les deux premières espèces offrent très-fréquemment le cube, moins souvent l'octaèdre et le dodécaèdre. Les formes simples habituelles du grenat sont le dodécaèdre et le trapézoèdre. Pour le diamant, c'est l'octaèdre et l'octotrièdre qui sont les formes simples dominantes. Cette espèce offre aussi le solide à quarante-huit facettes (octohexaèdre), mais ces facettes sont courbes par oblitération.

Les cristaux composés se rapportent presque toujours à une forme dominante qui est ordinairement le cube ou l'octaèdre, ou encore le dodécaèdre, modifiée par des facettes, quelquefois très-nombreuses, appartenant à ces formes ou à d'autres solides simples qu'on trouve rarement isolés. Nous allons en citer quelques exemples.

Haüy a représenté, dans sont atlas (pl. 61, fig. 41), un cristal de grenat à quatre-vingt-quatre faces, qu'il a nommé triémarginé parce qu'on peut le considérer comme un dodécaèdre dont les faces se trouveraient séparées, dans tous les sens, par trois bandes

ou marges. Il est facile de voir que les bandes extrêmes de ces triples bordures ne sont autre choses que les facettes de biseaux placés sur les arêtes du dodécaèdre et que les bandes moyennes sont les troncatures de ces mêmes arêtes. Ces dernières modifications, agissant seules, conduiraient au leucitoèdre, tandis que les premières donneraient un solide à quarante-huit faces.

La figure 80 offre un cube de fluorine portant sur chaque angle solide trois faces *t* d'un pointement direct qui produirait le trapézoèdre, chaque arête se trouvant remplacée par trois bandes dont les extrêmes *h* appartiennent au biseau qui mène à l'hexatétraèdre. Celle du milieu *b* n'est autre chose que la troncature qui donnerait le dodécaèdre rhombique. Ce cristal est donc réellement composé des quatres formes simples suivantes, savoir : le cube, le dodécaèdre, le trapézoèdre et l'hexatétraèdre ; de là le nom de *quadriforme* qu'Haüy lui a donné. Le même minéralogiste a appelé *triforme* le cristal de galène représenté (*fig*. 81), qui, en effet, porte à la fois des faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal.

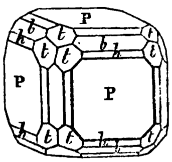


Fig. 80

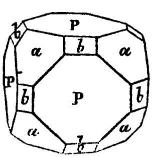


Fig. 81.

Enfin, dans la forme qui appartient au même minéral, fig. 46, pl. 90 (Haüy), on distingue un octaèdre dominant portant sur ses angles les faces du cube, et, sur ses arêtes, un biseau qui conduirait à l'octotrièdre, plus une troncature qui donnerait le dodécaèdre rhombique.

SOUS-SYSTÈME TÉTRAÉDRIQUE.

Système tétraédrique : Delafosse.

Forme type : **tétraèdre régulier.**
Molécules cristallines tétraédriques.

Le tétraèdre régulier a :

4 faces triangulaires équilatérales.
6 arêtes égales.
4 angles solides triples égaux.
Incidence de deux faces contiguës... 70° 31'.

Forme type. — Dans ce polyèdre, le plus simple des polyèdres réguliers de la géométrie, les axes égaux rectangulaires

ne peuvent s'obtenir qu'en joignant les milieux des arêtes opposées. Il ne doit pas être posé, par conséquent, sur une de ses faces comme base, mais bien comme la figure 82 le représente. Dans cette position, ses arêtes se trouvent correspondre à la moitié des diagonales des faces cubiques; et, en effet, si dans un cube ayant les mêmes axes que notre tétraèdre, on mène sur les faces des diagonales qui se joignent trois à trois par les extrémités, leur ensemble constituera évidemment une forme tétraédrique. La figure 83 montre clairement cette construction et la position des axes relativement aux arêtes du tétraèdre. Les autres diagonales, si on les traçait, donneraient naissance à un tétraèdre égal au premier, mais disposé d'une manière alterne. Le tétraèdre peut être encore obtenu en partant de l'octaèdre régulier. Il suffit pour cela de prolonger quatre des faces P de ce dernier polyèdre, prises alternativement sur la pyramide supérieure et sur la pyramide inférieure, jusqu'à leur intersection mutuelle; ainsi que le montre la figure 84. Les quatre faces *a* non employées dans cette opération pourraient être prolongées à leur tour, à l'exclusion des premières, et donneraient le tétraèdre alterne (*fig.* 85). Le tétraèdre régulier peut donc être considéré comme une moitié, ou, comme on le dit, comme une *hémiédrie* de l'octaèdre.

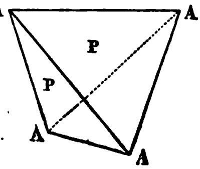
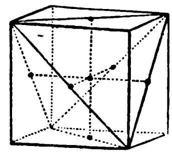


Fig. 82.


Fig. 83.

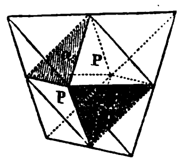
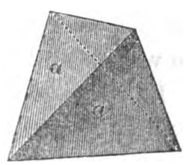


Fig. 84.


Fig. 85.

D'un autre côté, l'octaèdre régulier, considéré dans le sous-système tétraédrique, n'est réellement qu'une forme composée de deux tétraèdres, l'un direct, l'autre alterne; c'est donc une sorte de *ditétraèdre*.

Formes dérivées. — On pourrait obtenir par dérivation, en partant du tétraèdre, le cube et même l'octaèdre régulier ; ce dernier à titre de forme composée. Le cube résulterait de l'intersection de six plans tangents menés par les arêtes, ainsi que le démontre la figure 83, et l'octaèdre, des troncatures faites sur les

angles solides, combinées avec les résidus des faces du type. Dans la figure 86, on voit ces troncatures *a* indiquer les quatre faces qui doivent compléter l'octaèdre ; la figure 84 les représente avec leur entier développement.

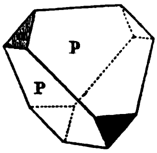


Fig 86.

On obtiendrait aussi quelques formes dérivées spéciales, savoir : un *tétraèdre pyramidé* (*fig.* 87), par le bisellement des arêtes, et un trapézoèdre à douze faces (*fig.* 88), par le pointement direct des angles solides. Ces deux genres de formes que nous venons de citer, sont d'ailleurs susceptibles d'offrir plusieurs espèces dont les axes devraient se conformer à la loi de rationalité. Chacune se rapporte à une des formes holoèdres étudiées précédemment, la première au trapézoèdre, et la seconde à l'octotrièdre (1).

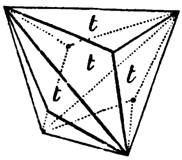


Fig. 87.

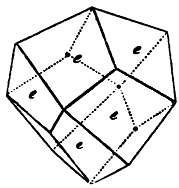


Fig. 88.

La figure des faces aurait pu indiquer d'abord à l'esprit un rapport inverse ; mais en remontant aux modifications originaires faites sur quatre des angles solides du cube, on voit clairement que le véritable est celui que nous venons de signaler.

Il est bon de remarquer d'ailleurs que les espèces qui se rencontrent le plus souvent parmi les formes appartenant à ces deux genres sont justement celles qui correspondent aux solides holoèdres les plus fréquents. La panabase de Clausthal et l'eulytine, par exemple, se présentent assez habituellement sous la forme d'un tétratrièdre ayant pour angles 109° 28′ et 146° 27′ et qui n'est autre chose que le leucitoèdre réduit par l'hémiédrie à la moitié de ses faces.

Les douze faces du trapézoèdre pourraient devenir des rhombes pour une certaine incidence des facettes de pointement, d'où résulterait le dodécaèdre rhomboïdal.

Il faut bien remarquer que les formes complètes que l'on obtient en partant du tétraèdre ne sont identiques à celles obtenues pré-

(1) Nous avons indiqué ces relations dans nos figures en employant, pour les faces des formes hémièdres, les lettres que nous avions adoptées pour les solides holoèdres correspondants.

cédemment qu'au point de vue géométrique. Les cristaux qui affectent ces formes communes se distinguent ici par des propriétés physiques particulières et notamment par la structure. Ainsi, le cube de la série holoédrique est supposé offrir les mêmes circonstances physiques dans toutes ses parties identiques géométriquement et particulièrement dans les angles, condition qui se trouve évidemment satisfaite par la forme cubique de ses molécules cristallines ; tandis que le cube dérivé du tétraèdre présente des angles de deux sortes aux extrémités d'une même diagonale.

Nous avons déjà dit que la boracite cubique n'était jamais modifiée de la même manière que sur quatre de ses huit angles solides (*fig* 89). On sait d'ailleurs que les angles de la première sorte prennent, sous l'influence des variations de chaleur, une électricité inverse de celle offerte, dans les mêmes circonstances, par les angles de la deuxième espèce ; ceux-ci ont encore une dureté un peu différente. Pour expliquer ces oppositions entre des parties qui semblent cependant identiques à l'extérieur, il suffit de supposer, comme cela est extrêmement probable, que les cubes de la première sorte sont composés de molécules cubiques, et que les autres cubes sont formés par des tétraèdres dans leur position normale, c'est-à-dire ayant deux arêtes opposées horizontales et parallèles aux diagonales des bases du cube, auquel cas les axes de ces éléments tétraédriques se trouvent être parallèles à ceux du type, ainsi que la théorie l'exige (*fig.* 90).

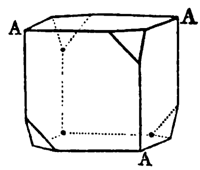
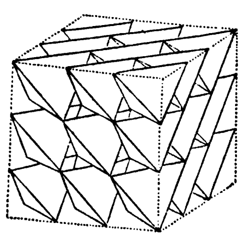


Fig. 89.

Dans un cube normal, composé de molécules cubiques, toutes les parties du même genre sont nécessairement identiques ainsi que nous l'avons déjà dit ; les angles notamment ne peuvent offrir aucune différence puisqu'ils sont formés par des angles de cubes moléculaires égaux ; mais il est facile de concevoir, surtout si l'on a sous les yeux la figure 90, que, dans le cube composé de tétraèdres, l'identité existant encore pour les faces et pour les arêtes, il n'en sera plus de même relativement aux angles ; car, si l'on considère deux sommets placés aux extrémités d'une même diagonale, l'un offrira des pointes et l'autre des bases mo-


Fig. 90.

léculaires, circonstance qui devra naturellement entraîner des différences physiques de toute nature pour ces deux sortes d'angles solides (1).

En tenant compte de cette dissymétrie physique qui sépare les angles du cube en deux catégories, on pourrait obtenir toutes les formes de sous-système en partant de ce type. Ainsi, le tétraèdre direct lui-même résulterait de la troncature des angles de la première sorte, que l'on pourrait représenter, par exemple, par A′, tandis que, par une semblable modification appliquée aux autres angles désignés par A, on arriverait au tétraèdre alterne. La figure 89 montre un cube affecté de la première de ces deux modifications.

Exemples naturels. — La nature n'offre qu'un très-petit nombre de minéraux cristallisés sur le type du tétraèdre. Ce solide lui-même se présente assez fréquemment dans la panabase (cuivre gris). La même espèce offre aussi, comme nous l'avons vu plus haut, le tétratriè-dre de 109° 28′ qui est également la forme habituelle de l'eulytine (bismuth silicaté).

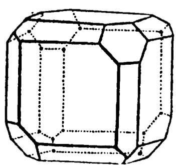


Fig. 91.

La figure 91 représente une autre forme composée : c'est un cube de boracite, portant sur ses arêtes, les faces du dodécaèdre rhomboïdal, et sur quatre des angles celles du tétraèdre.

SOUS-SYSTÈME HEXADIÉDRIQUE.

Système hexadiédrique : Delafosse.

Forme type : **hexadièdre.**
Molécules.... hexadiédriques.

Forme type. — Le solide que nous venons de nommer (*fig.* 92) est incompatible avec les formes du système régulier holoédrique et même avec celles du sous-système tétraédrique. Il caractérise, par conséquent, très-bien le groupe que nous allons

(1) Un cube construit de cette manière serait susceptible d'offrir sur chacune de ses faces des stries obliques parallèles à l'une des diagonales, ainsi que le montre la figure 90. Il devrait aussi se laisser rayer plus facilement dans ce sens que dans celui de la diagonale perpendiculaire.

faire connaître. Ce polyèdre est compris sous douze faces qui sont des pentagones symétriques parfaitement égaux, deux faces opposées étant nécessairement parallèles. On peut aussi le considérer comme un cube qui porterait une espèce de toit ou *dièdre* sur chacune de ses faces, d'où le nom d'*hexadièdre* qu'on lui donne très-souvent. Les axes joignent les milieux des arêtes qui forment le faîte de ces toits sur des faces opposées (*fig.* 94). On voit qu'ils offrent encore ici les relations caractéristiques du système régulier.

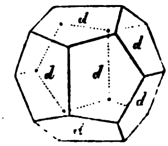


Fig. 92.

L'hémiédrie de cette forme consiste en cette circonstance que, pour l'obtenir, il suffit de prolonger la moitié des faces des biseaux qui conduisent au solide à vingt-quatre faces (hexatétraèdre). En effet, si l'on considère seulement une face du cube, la supérieure, par exemple, la figure 93 montre cette face bordée par quatre facettes également inclinées et qui produiraient, par leur intersection mutuelle, si elles étaient prolongées suffisamment, une pyramide droite reposant sur la face du cube. Supprimons maintenant, dans ce cadre de quatre facettes, deux facettes opposées (celles qui sont ombrées dans la figure) et prolongeons les deux autres *d* : celles-ci se couperont suivant une droite ou ligne de faîte dont la longueur sera limitée par le prolongement des facettes inférieures des biseaux dont les supérieures ont été supprimées. Il est facile de comprendre, et cela se voit clairement sur la fig. 94, que l'effet de cette hémiédrie, répétée dans le même ordre sur tout le reste de la surface du cube, sera de produire, de chaque côté d'une arête quelconque, d'une part un trapèze, et de l'autre un triangle isocèle, figures dont la réunion formera un pentagone symétrique, et, sur chaque face, un toit ou dièdre avec des pans coupés aux deux extrémités. Il est à remarquer que les arêtes culminantes de ce solide sont parallèles sur des faces opposées, tandis que, si on les considère sur des faces adjacentes, elles sont perpendiculaires entre elles (1).

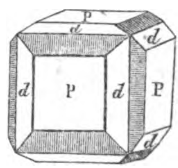


Fig. 93.

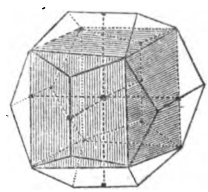


Fig. 94.

(1) Il est évident que si au lieu de considérer les facettes *d*, on avait prolongé celles

Il résulte de la génération de ce solide qu'il s'obtiendrait immédiatement par la suppression alternative de la moitié des faces de l'hexatétraèdre (*fig.* 70), et que par conséquent ce dernier polyèdre peut être considéré comme étant composé de deux hexadièdres identiques, l'un direct et l'autre alterne. Or, l'hexatétraèdre étant sujet à varier par ses angles, il en doit être de même de son hémièdre. C'est, en effet, ce qui arrive; mais, de même que la nature n'a réalisé qu'un très-petit nombre d'hexatétraèdres dont les axes sont à ceux du cube dans un rapport très-simple, elle n'offre également que très-peu d'hexadièdres. On n'en connaît que trois, parmi lesquels il en est un qui est beaucoup plus régulier et plus fréquent que les autres. La longueur de son axe est $^3/_2\ a$, a étant la longueur de l'axe du cube inscrit; on remarque que cette valeur est justement celle que nous avons indiquée pour l'hexatétraèdre le plus fréquent.

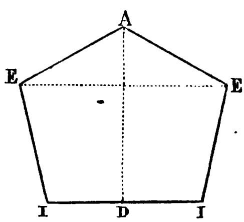


Fig. 95.

Cet hexadièdre particulier est le seul qui se rencontre isolé : on l'appelle quelquefois *pyritoèdre*, parce que la pyrite l'offre habituellement comme forme simple ou dominante. C'est celui que nous avons admis dans nos figures. Ses faces (*fig.* 95) sont des pentagones symétriques ayant quatre arêtes égales. La cinquième arête II, qui peut être regardée comme une base, est un peu plus grande que les autres; elle joue le rôle de ligne de faîte dans les dièdres. Ce pentagone a trois sortes d'angles, savoir :

Un angle du sommet A dont la valeur est.	121° 1/2.
Des angles latéraux E, de.	106° 1/2.
Des angles basiques I.	102° 1/2.

Voici, les éléments du solide lui-même :

12 faces pentagonales symétriques égales.

30 arêtes	6 culminantes égales.
	24 ordinaires égales.
20 angles triples..	8 cubiques réguliers.
	12 culminants non réguliers.

Les angles que nous appelons cubiques, parce qu'ils correspon-

---

qui portent des hachures dans la figure 94, on eût obtenu un autre hexadièdre identique au premier, mais dans une position alterne.

dent aux sommets du cube, sont formés par trois angles égaux qui sont des angles latéraux de pentagones. Les douze angles, situés aux extrémités des arêtes culminantes, résultent de l'assemblage d'un angle du sommet et de deux angles basiques des pentagones.

Formes dérivées. — Nous ne pouvons insister sur les dérivations de ce type. La seule inspection de la figure 96 montre que l'on en tirerait facilement un cube en tronquant toutes les arêtes culminantes.

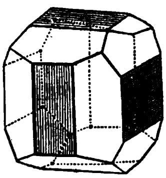


Fig. 96.

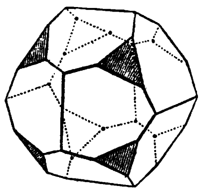


Fig. 97.

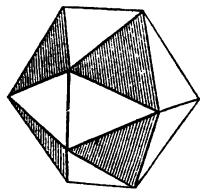


Fig. 98.

L'octaèdre s'obtiendrait en modifiant, de la même manière, les angles de la première sorte correspondant à ceux du cube (*fig*. 97). La combinaison de ces dernières troncatures poussées jusqu'à un certain point, et des résidus des faces dodécaédriques, donnerait une espèce d'icosaèdre (*fig*. 98) à huit triangles équilatéraux et douze triangles isocèles, que la nature offre quelquefois (1).

Les angles cubiques du type étant composés de trois angles plans égaux sont susceptibles de recevoir un pointement par trois facettes obliques, qui prolongées produiraient un solide à 24 faces quadrilatères non symétriques auquel M. Delafosse a donné le nom de *dodécadièdre* et qui pourrait être considéré comme un hexadièdre dont toutes les faces auraient été légèrement pliées suivant leur hauteur. Le même solide s'obtiendrait encore par des biseaux obliques placés aux extrémités des arêtes culminantes. C'est la seule forme simple dérivée qui soit particulière au sous-système hexadiédrique. Cette forme, combinée avec celle du cube convenablement développée, donne un solide à 30 faces quadrilatères dont six seulement, les faces cubiques, sont des rhombes. On appelle *triacontaèdre* cette forme composée.

---

(1) Ce solide a été considéré par Romé de Lisle comme régulier ; mais Haüy a démontré que l'icosaèdre régulier de la géométrie ne pouvait être dérivé du cube que par des décroissements impossibles. Il en est de même du dodécaèdre pentagonal régulier.

Les formes semblables aux formes holoèdres qui se rattachent à ce groupe doivent être considérées comme ayant une structure moléculaire différente. Toutes les circonstances de cette hémiédrie semblent indiquer l'hexadièdre pour la forme des molécules cristallines. En admettant que le cube, par exemple, soit construit avec ces éléments moléculaires (*fig.* 99), ce qui entraîne la diversité de structure des faces des deux côtés d'une même arête, on se rend tout naturellement compte de l'inégalité d'inclinaison des troncatures qui conduisent à la forme dont il s'agit.

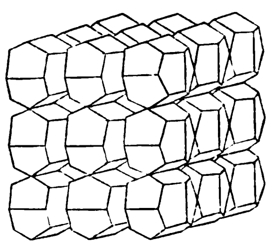


Fig. 99.

Cette structure particulière du cube explique aussi tout naturellement la présence de stries disposées, dans trois sens perpendiculaires, sur les faces des cubes de pyrite qu'Haüy a appelés *triglyphes* (*fig.* 100). Dans notre hypothèse, ces stries ne seraient autre chose que les traces plus prononcées des arêtes moléculaires culminantes.

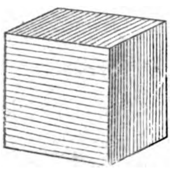


Fig. 100.

Exemples naturels. — La pyrite et la cobaltine sont, jusqu'à présent, les seuls minéraux qui cristallisent dans ce sous-système. Outre les formes simples (hexadièdre, cube, octaèdre et dodécadièdre), on trouve fréquemment, parmi les cristaux de ces espèces, des solides plus ou moins composés, comme l'icosaèdre (*fig.* 98), le cubo-dodécaèdre (*fig.* 96) et le triacontaèdre. La piryte est remarquable par la multitude des facettes dont les cristaux sont souvent chargés. Telle est, par exemple, la variété parallélique d'Haüy, représentée dans son atlas, planche 108, figure 116, où l'on trouve une forme dominante cubique entourée par cent vingt-huit facettes.

II. SYSTÈME HEXAGONAL.

Système rhomboédrique : Beudant, Dufrénoy.

Ce système offre une symétrie très-remarquable et des allures tout exceptionnelles. C'est le seul où les modifications marchent

par six ; aussi l'appelons-nous *hexagonal*, à l'exemple de MM. Naumann et Delafosse. La plupart des auteurs lui donnent le nom du rhomboèdre qui est réellement la forme la plus intéressante de toutes celles qui se rattachent au système ; mais nous ne pouvions suivre cet exemple sans manquer au principe de notre classification. Le rhomboèdre et les cristaux qui en dérivent sont affectés d'un caractère hémiédrique très-prononcé qui nous oblige à en faire un groupe à part, subordonné, malgré sa haute importance, à la catégorie que constituent les formes holoèdres.

Voici la caractéristique du système normal :

Un axe principal perpendiculaire à trois axes secondaires égaux entre eux et se coupant sous l'angle de 60°.

Progression symétrique : $\div$ 6. 12. 18...

Forme type : **le prisme hexagonal régulier.**

Molécules intégrantes : même forme.

Forme type. — Dans ce système, le prisme hexagonal (*fig.* 101) jouit réellement de toute la symétrie que la géométrie indique.

On y trouve huit faces, savoir : deux bases P, qui sont des hexagones réguliers, et six faces latérales M de forme rectangulaire.

Ses angles solides, au nombre de douze, sont identiques ; car chacun se trouve composé de deux angles droits dépendant des faces latérales, et d'un angle de 120° appartenant à une base.

Les arêtes sont de deux sortes : douze basiques et six latérales.

La symétrie de cette forme peut se résumer de la manière suivante :

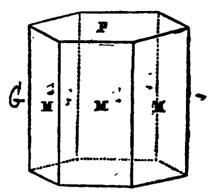


Fig. 101.

8 faces. .	2 bases (hexagones réguliers). 6 faces latérales (rectangles).
18 arêtes. .	12 basiques. 6 latérales.
12 angles solides triples.	

Il est bien entendu que ce prisme, type du système normal, est censé être constitué par des molécules de même forme et régulièrement agrégées conformément aux lois de la symétrie.

L'axe principal joint ici les centres des deux bases, et chacun des trois axes secondaires réunit les milieux des arêtes latérales opposées (*fig.* 102). Un autre système d'axes secondaires pourrait s'obtenir en joignant les centres des faces rectangulaires ; mais nous préférons, avec la plupart des auteurs, celui que nous avons indiqué en premier lieu.

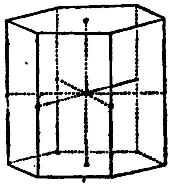


Fig. 102.

Troncature — *sur les arêtes.* La troncature des arêtes basiques donnerait lieu, pour chaque base, à un anneau de facettes *b* (*annulaire*, H.) (*fig.* 103). En général, chacune de ces facettes serait inégalement inclinée sur la base et sur la face latérale correspondante. Du reste, cette inclinaison est arbitraire ; mais, une fois fixée pour une arête, elle doit rester la même pour toutes les autres. Il est facile de prévoir la forme du solide qui résulterait de l'approfondissement de ces facettes ou de leur prolongement jusqu'à la disparition des faces du solide primitif. En considérant d'abord ce qui se passerait alors sur la base supérieure du prisme, on verrait les six facettes, partant des arêtes, s'élever avec la même inclinaison sur cette base, s'entrecouper, deux à deux, suivant six droites qui, partant des points qui correspondent aux angles, viendraient évidemment se réunir en un point situé sur l'axe principal. On aurait donc une pyramide régulière hexagonale posée sur la base supérieure du prisme. Les six facettes inférieures produiraient évidemment, au-dessous de la base située de ce côté, une pyramide identique à la première. Le prisme aurait ainsi les deux bases remplacées par des pyramides et serait, par conséquent, *pyramidé* (*fig.* 104). Si l'on suppose maintenant que les faces correspondantes des deux pyramides se prolongent du côté opposé à leurs sommets, de manière à

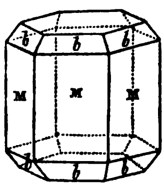


Fig. 103.

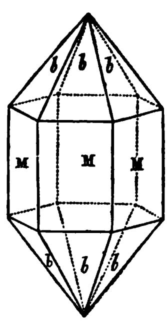


Fig. 104.

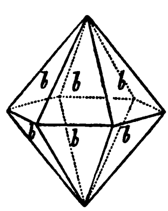


Fig. 105.

venir à la rencontre les unes des autres, ou, plutôt, que les deux pyramides marchent l'une vers l'autre et finissent par s'accoler par leurs bases, qui se réduiraient alors à une base commune égale à celle du prisme, on arrivera au solide représenté dans la figure 105 : c'est un *dodécaèdre triangulaire régulier* que l'on appelle habituellement *dihexaèdre* en minéralogie.

Les arêtes latérales donneraient, par des troncatures, six nouvelles faces rectangulaires qui, développées justement au point d'acquérir une largeur égale à celle de la portion restante des faces primitives et combinées avec ces faces, produiraient un prisme *dodécagonal régulier*, dont la figure 106 montre la projection horizontale. Dans cette figure, la lettre *h* désigne la position des faces secondaires.

Les mêmes modifications, prolongées de manière à s'entrecouper en faisant disparaître les faces du prisme initial, feraient naître un nouveau prisme hexagonal égal au premier, mais disposé d'une manière alterne, en ce sens que les arêtes du nouveau prisme correspondraient aux faces du premier et réciproquement.

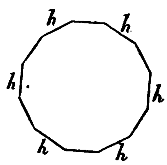


Fig. 106.

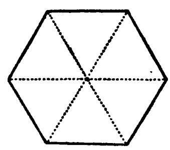


Fig. 107.

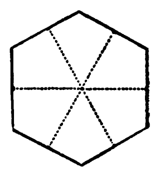


Fig. 108.

Les projections de ces prismes, l'un direct, l'autre alterne, sont offertes par les figures 107 et 108, où l'on voit, pour chacun d'eux, la disposition relative des axes secondaires.

— *Sur les angles.* Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire de faire autre chose ici que d'énoncer le résultat de cette modification qui affectera également les douze angles du prisme primitif. Il est de toute évidence que les six triangles résultant de la troncature des angles supérieurs, étant prolongés jusqu'à leur rencontre mutuelle, formeraient une pyramide régulière qui, combinée avec celle que produiraient les modifications inférieures, donnerait encore un *dihexaèdre régulier*. Ce solide aurait la même forme que celui que nous avons obtenu par la troncature des arêtes basiques ; mais il serait placé d'une manière alterne relativement au

prisme fondamental. C'est celui-là qu'on obtiendrait en tronquant les arêtes basiques du prisme hexagonal alterne.

Bisellement — *sur les arêtes.* Les arêtes latérales du prisme primitif, désignées, je suppose, par la lettre H, se trouvant à la rencontre de plans égaux, peuvent être remplacées par des biseaux symétriques dont les projections horizontales sont représentées par *h* dans la figure 109. L'ensemble de ces modifications, prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle, donnerait lieu à un prisme à douze faces ; mais ce prisme ne pourrait être régulier que dans le cas particulier où l'angle du biseau aurait justement la valeur qui caractérise ce dernier solide. Dans tous les autres cas, la forme dérivée aurait deux sortes d'angles dièdres latéraux. On lui donne, en général, le nom de *prisme dodécagonal symétrique.* Dans la projection (*fig.* 109), il se trouve en combinaison avec le type, et il en résulte un prisme symétrique à dix-huit faces.

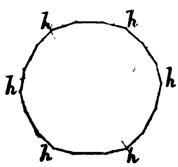


Fig. 109.

— *Sur les angles.* Des biseaux obliques peuvent aussi se placer sur les angles du prisme fondamental (*fig.* 110), de manière à intercepter les bouts des arêtes latérales et à les remplacer, chacun, par deux facettes triangulaires obliques inclinées en sens inverse. L'ensemble de ces facettes, au nombre de douze sur la base supérieure, formerait une pyramide symétrique. Une pyramide semblable résulterait du prolongement des facettes inférieures. Enfin, ces deux pyramides, marchant au-devant l'une de l'autre jusqu'à leur rencontre mutuelle, donneraient un *didodécaèdre symétrique* (*fig.* 111) qui pourrait même devenir *équiangle* ou *régulier* pour une certaine valeur de l'angle choisi pour les facettes du biseau.

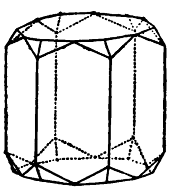


Fig. 110.

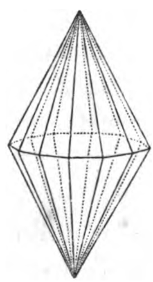


Fig. 111.

Récapitulation. — Il n'y a pas d'autres modifications possibles du prisme hexagonal que celles que nous venons d'indiquer.

Aucun pointement ne peut avoir lieu, puisque les angles solides n'offrent que deux parties égales.

Les seules formes simples du système sont donc :

Le prisme hexagonal ; le dihexaèdre.	réguliers, soit directs, soit alternes.
Le prisme à douze faces ; le didodécaèdre.	soit symétriques, soit réguliers.

Le prisme à douze faces et le didodécaèdre réguliers ne sont ici que comme formes limites ou accidentelles.

L'analyse et la symétrie des formes dérivées sont si faciles à saisir au premier coup d'œil que nous jugeons inutile d'entrer, à cet égard, dans aucune explication. Nous nous contenterons de faire remarquer que, parmi toutes les inclinaisons possibles des faces des dihexaèdres ou les didodécaèdres sur leurs bases ou sur les faces du prisme correspondant, il n'en est guère que trois qui se trouvent réalisées ; celles-là sont telles que les distances qu'elles interceptent sur l'axe principal sont entre elles dans un rapport très-simple.

Exemples naturels. — Le béryl ou émeraude, la pyromorphite et l'apatite constituent les exemples les plus classiques qu'il soit possible de citer pour le système hexagonal. Ces espèces offrent habituellement la forme du prisme fondamental simple ou modifié par des facettes, conformément à la loi de symétrie.

Le béryl, particulièrement, réalise presque toutes les modifications que nous venons de passer en revue ; mais jamais le prisme hexagonal ne s'y trouve effacé ; au contraire, il joue presque toujours le rôle de forme dominante. C'est ce que l'on peut remarquer dans le cristal ci-représenté (*fig.* 112), (Emeraude soustractive, Haüy). Le prisme primitif y est intact relativement aux arêtes et aux faces latérales. Les modifications ne portent que sur le pourtour de la base. Elles consistent en deux rangées

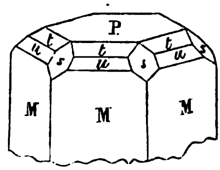


Fig. 112.

de facettes remplaçant les arêtes basiques, et en de simples troncatures sur les angles. Ces trois ordres de facettes, si elles étaient prolongées, donneraient lieu à trois dihexaèdres, deux directs

et un alterne; mais ces formes n'y sont presque jamais accusées par des pyramides.

L'apatite (chaux phosphatée, H.) offre, comme le béryl, des exemples variés des modifications dont le prisme hexagonal est susceptible (1). Ces modifications sont, en général, conformes, ainsi que celles des espèces qui viennent d'être citées, à la loi de symétrie; cependant, il existe des cristaux assez compliqués par un grand nombre de facettes normales, qui portent, de plus, sur les angles ou sur les arêtes du prisme, d'un côté, une facette oblique qui ne se reproduit pas du côté opposé. C'est donc une hémiédrie que M. Delafosse appelle *rotatoire*, à cause de la disposition circulaire des facettes dont il s'agit et de leur inclinaison toujours dans un seul et même sens autour de l'axe. Cette disposition se manifeste avec une certaine constance dans les cristaux blancs qui nous viennent du Saint-Gothard. Ce fait anormal est curieux sans doute; mais je crois qu'il suffit de le signaler spécialement à la suite du système hexagonal. Ce serait aller trop loin que de le faire servir de fondement à un système particulier.

SOUS-SYSTÈME RHOMBOÉDRIQUE.

Forme type : **le rhomboèdre.**
Molécules... rhomboédriques.

Forme type. — Le rhomboèdre (*fig.* 113), forme fondamentale de cette catégorie, est une espèce particulière de parallélipipède qui a pour faces six losanges ou *rhombes* P parfaitement égaux. Nous avons donné une première idée de cette forme (page 59); mais, comme le rhomboèdre n'est pas encore entré dans le domaine de la géométrie ordinaire, et qu'il joue, en cristallographie, un rôle de premier ordre, nous croyons devoir reprendre ici sa description et consacrer quelques instants à l'étude de ses propriétés.

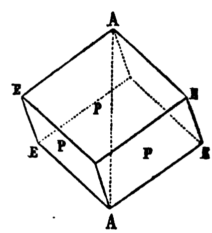


Fig. 113.

(1) L'apatite proprement dite, celle dont il est ici question, est presque toujours basée, comme l'émeraude et la pyromorphite; mais il n'en est pas de même d'une autre sorte de chaux phosphatée naturelle qui se rapporte à la même espèce et que Werner appelait *Spargelstein*; les cristaux de celle-ci sont habituellement pyramidés.

Parmi les huit angles de ce solide, il en est deux opposés A qui sont d'une espèce particulière. Ceux-ci résultent de l'assemblage de trois angles plans égaux et sont réguliers. Dans toutes les considérations cristallographiques, ces deux angles doivent être placés l'un en haut, l'autre en bas, et la ligne qui les joint (axe principal du système) doit être verticale; aussi leur donne-t-on le nom d'angles *culminants*. Les six autres angles E, qu'on appelle angles *latéraux*, sont composés chacun d'un angle obtus des faces et de deux angles aigus ou réciproquement. Ils sont donc seulement symétriques et diffèrent, comme on le voit, des angles culminants; mais ils sont égaux entre eux.

Chaque face du rhomboèdre a nécessairement deux diagonales qui sont perpendiculaires entre elles. L'une de ces diagonales *Au* (*fig.* 114), celle qui part d'un sommet, est inclinée, l'autre *xy* est toujours horizontale. La figure montre ces diagonales pour les trois faces supérieures. On remarquera que les trois diagonales horizontales forment un triangle équilatéral *xyz*.

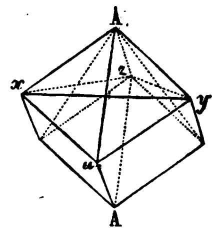
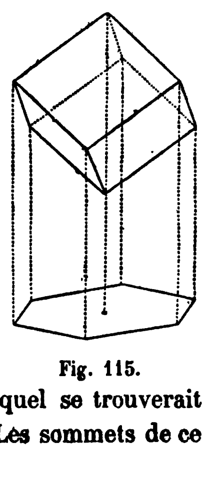


Fig. 114.

Un plan mené par l'axe principal et par deux arêtes culminantes opposées comprend aussi deux diagonales obliques, et couperait le solide suivant un parallélogramme A*z*A*u* (*fig.* 114) que l'on est convenu d'appeler *section principale*.

Toutes les arêtes (au nombre de douze) sont égales; mais elles ne sont pas identiques cristallographiquement; celles qui se rendent aux sommets des angles culminants, ou *arêtes culminantes*, doivent être distinguées des six arêtes qui entourent l'axe. Il est bon de faire remarquer que ces arêtes *latérales* du rhomboèdre constituent, dans leur ensemble, un zigzag à six côtés égaux dont chacun est incliné de la même quantité, mais en sens inverse, sur un plan horizontal, et se trouve d'ailleurs à la même distance de l'axe principal. La projection horizontale de l'ensemble de ces arêtes (*fig.* 115) aurait la forme d'un hexagone régulier dans lequel se trouverait comprise la projection de tout le rhomboèdre. Les sommets de ce


Fig. 115.

solide correspondraient au centre de l'hexagone, et ses arêtes culminantes se projetteraient suivant les rayons du cercle circonscrit.

En résumé, le rhomboèdre offre :

6 faces rhomboïdales identiques.	
12 arêtes égales.	6 culminantes. 6 latérales.
8 angles solides triples. .	2 culminants. 6 latéraux.

D'après les propriétés qui viennent d'être indiquées, on voit que le solide qui nous occupe pourrait être considéré comme ayant été produit par la rencontre de six plans parallèles deux à deux et coordonnés à un seul et même axe vertical, trois plans supérieurs et trois inférieurs, formant entre eux et avec l'axe, de chaque côté, des angles égaux.

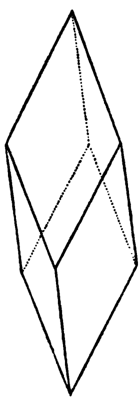


Fig. 116.

Lorsque les angles égaux qui constituent les angles solides culminants sont obtus, le rhomboèdre est plus ou moins déprimé, et l'on dit qu'il est *obtus ;* tel est le solide type que nous avons adopté dans nos figures. Dans le cas contraire, le rhomboèdre offre une forme allongée, et l'on dit qu'il est *aigu* (*fig.* 116). Le cas intermédiaire, celui où l'angle du sommet se composerait de trois angles droits, donnerait le cube. Alors les rhombes deviendraient des carrés, et les angles latéraux, ainsi que les arêtes latérales, se trouveraient identiques aux angles et arêtes culminants.

Nous avons dit que l'axe principal du système, celui qui doit occuper la position verticale, passait par les sommets des deux angles culminants. Les trois axes secondaires s'obtiendraient en joignant les milieux des arêtes latérales opposées (*fig.* 117). Il est facile de voir qu'ils se trouvent dans un même plan perpendiculaire à l'axe principal, passant par son milieu, qu'ils ont la même longueur, et qu'ils forment entre eux, comme ceux du système

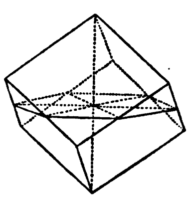


Fig. 117.

normal, un angle de 60°. On peut les considérer comme les diagonales d'un hexagone régulier alterne de celui que représente la figure 115.

Les deux extrémités de l'axe principal jouent le même rôle, et les parties supérieures et inférieures se groupent ensemble, au nombre de six, autour de lui; mais il faut remarquer ici cette circonstance particulière et tout à fait caractéristique, que les parties inférieures sont disposées d'une manière alterne par rapport aux parties supérieures, de telle sorte qu'une face de dessus correspond à une arête inférieure et réciproquement.

Troncature — *sur les arêtes.* Les arêtes culminantes étant identiques entre elles, devront être tronquées toutes à la fois et de la même manière. Cette modification donnera lieu à six facettes allongées *o* dont chacune sera également inclinée sur les deux faces adjacentes du type (*fig.* 118).

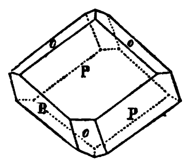


Fig. 118.

Que produirait l'ensemble de ces facettes prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle? Il est évident que ce serait un nouveau rhomboèdre dont les faces correspondraient aux arêtes du premier et réciproquement. En effet, en ne considérant d'abord que ce qui devrait se passer dans la moitié supérieure du solide, on aurait trois nouveaux plans, formant entre eux des angles égaux, qui se couperaient deux à deux, suivant trois droites correspondant aux diagonales inclinées des rhombes primitifs. La même chose aurait lieu, mais d'une manière alterne, dans la partie inférieure, et il ne serait pas difficile de démontrer rigoureusement que l'entre-croisement des deux systèmes inférieur et supérieur produirait un solide compris sous six rhombes parfaitement égaux, c'est-à-dire un rhomboèdre qui serait nécessairement plus déprimé que le premier, puisque les arêtes de celui-ci, qui déterminent l'inclinaison des nouvelles faces, font, avec l'axe, des angles plus grands que ceux formés par les faces primitives elles-mêmes.

Ce rhomboèdre pourrait également résulter de l'entre-croisement de plans tangents menés par toutes les arêtes culminantes du type qui, dès lors, s'y trouverait inscrit. Dans cette position, qui se trouve réalisée dans la figure 119, on peut voir plus clairement les propriétés qui distinguent ce solide dérivé de ceux

que nous obtiendrons bientôt par d'autres modifications. Ces propriétés sont les suivantes :

1° Son axe principal est le même que celui du primitif, d'où le nom d'équiaxe (Haüy) ; ses axes secondaires ont une longueur double.

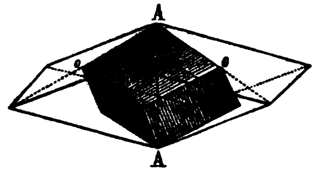


Fig. 119.

2° La diagonale horizontale, qui est égale à l'axe secondaire, est, par conséquent, double de celle du primitif, et la diagonale oblique, celle qui part du sommet, égale deux fois l'arête du type.

Cette dernière propriété fournit un moyen très-simple de construire le rhomboèdre dérivé sur le type. Il consiste à prolonger les arêtes culminantes A *o* de celui-ci d'une quantité égale à elles-mêmes. Les sommets se trouvent ainsi déterminés, et il suffit de les joindre pour achever la construction.

Passons maintenant à la troncature des arêtes latérales (*fig.* 120).

Pour bien concevoir ce qui doit résulter de cette opération, il faut se rappeler la remarque que nous avons faite plus haut sur la forme hexagonale de la projection horizontale des arêtes dont il s'agit. Si l'on ajoute à cette notion celle-ci : que les plans du rhomboèdre qui, par leur intersection mutuelle, donnent naissance à chacune de ces arêtes, sont inclinés également, bien qu'en sens inverse, sur le plan horizontal, on verra de suite : 1° que les troncatures *c* dont il s'agit seront verticales ; 2° qu'étant suffisamment approfondies, elles doivent produire les faces d'un prisme hexagonal régulier. Ce prisme lui-même, terminé par des bases hexagonales, ne peut résulter de cette seule modification qui laissera toujours subsister les sommets supérieur et inférieur du rhomboèdre ; il faudrait, pour le terminer, joindre à la troncature des arêtes latérales celle des sommets, dont il va être question ci-après.

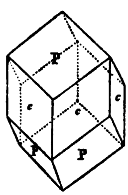


Fig. 120.

Dans le prisme dont nous venons d'indiquer la dérivation, les axes horizontaux aboutiraient aux milieux des faces parallèles, comme dans la figure 108.

— *Sur les angles*. La troncature des angles culminants donne, pour chaque sommet, un triangle équilatéral parallèle à l'horizon,

qui peut devenir très-large, si l'on approfondit suffisamment la troncature. Haüy désignait par l'épithète de *basé* le rhomboèdre dont les sommets se trouvent ainsi remplacés par deux faces horizontales. En marchant vers la limite de cette modification, qui serait un plan horizontal mené par le centre du rhomboèdre, on passe par le cas représenté figure 121, où les côtés des bases résultant de la modification dont il s'agit se trouvent joindre trois angles latéraux supérieurs et trois angles inférieurs. En poussant encore plus loin, on réduirait le solide primitif à une lame ou *table* hexagonale tailladée tout autour, et alternativement dans un sens et dans l'autre, par six trapèzes, résidus des faces primitives.

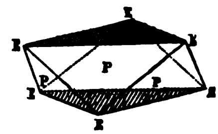


Fig. 121.

Les angles solides latéraux se composant, comme nous l'avons vu plus haut, de deux angles égaux et d'un troisième angle d'une espèce particulière, la seule condition que la troncature d'un de ces angles ait à remplir, d'après la loi de symétrie, est d'être également inclinée sur les deux plans qui offrent ces angles égaux, l'inclinaison par rapport au troisième plan pouvant varier à volonté. En général, ces troncatures donnent trois facettes dirigées vers la partie supérieure de l'axe, et trois autres alternant avec les premières et dirigées en sens inverse; et il n'est pas difficile de voir que l'ensemble de ces modifications prolongées doit produire un rhomboèdre dans une position alterne.

Parmi tous les cas possibles qui dépendent de l'inclinaison arbitraire de ces troncatures des angles latéraux, il en est trois qui méritent d'être signalés.

Pour bien se rendre raison du premier cas, imaginons que l'on trace dans les faces du type (*fig.* 122) les diagonales obliques, et que l'on fasse passer trois plans coupants par les diagonales supérieures, en les prenant de deux en deux, puis trois autres plans, alternant avec les premiers, par les diagonales inférieures, on obtiendrait ainsi un rhomboèdre aigu ayant même axe que le type, et dont les arêtes culminantes se confondraient avec les demi-diagonales obliques du premier solide, de telle manière que celui-ci se trouverait

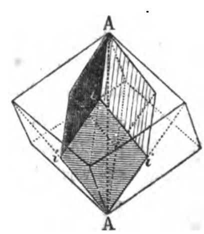


Fig. 122.

être circonscrit à l'autre absolument comme l'équiaxe l'était au rhomboèdre primitif lui-même. Dans ce rhomboèdre, que l'espèce calcaire offre assez souvent, les angles plans des rhombes sont égaux aux incidences des faces du primitif, et réciproquement les angles dièdres égalent les angles plans du type ; de là l'épithète d'*inverse* qui lui a été appliquée par Haüy. Le mode de dérivation que nous avons employé en dernier lieu nous montre que les relations géométriques qui liaient l'équiaxe au primitif doivent exister entre le second de ces rhomboèdres et le nouveau dérivé, d'où il suit que l'axe horizontal de celui-ci doit être égal à la moitié de celui du type. C'est, en effet, ce qui arrive, ainsi qu'on peut le voir dans la figure 122 (1). La même figure montre que les sommets des angles latéraux de ce rhomboèdre inverse coïncident avec les milieux des faces du primitif. De là un moyen très-simple de le construire directement.

Le second cas est celui où l'inclinaison sur l'axe de chaque facette modifiante serait la même que celle des faces du rhomboèdre type ; dans ce cas, le rhomboèdre secondaire serait égal au primitif, sauf la position qui serait alterne, et l'ensemble de ces deux solides supposés réduits au même axe, constituerait un polyèdre à deux pyramides régulières adossées contre une base commune hexagonale; ce serait donc un dodécaèdre triangulaire régulier (*fig.* 123) qu'il faut considérer ici comme un *dirhomboèdre*.

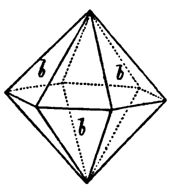


Fig. 123.

La figure 124 montre bien ces relations du dirhomboèdre et du type, et l'on y distingue nettement les deux ordres de faces du

(1) Si l'on voulait pousser plus loin cette filiation, on n'éprouverait pas plus de difficulté à concevoir dans l'inverse un quatrième rhomboèdre inscrit (ce serait le *contrastant*, Haüy, (figure 116) ; dans celui-ci, un cinquième, et ainsi de suite. D'un autre côté, l'équiaxe lui-même, qui se trouve circonscrit au primitif, pourrait être considéré comme inscrit, à son tour, dans un rhomboèdre plus obtus de même axe, celui-ci dans un solide plus obtus encore, etc... De là une série remarquable de rhomboèdres qui, pour un même axe vertical, auraient des axes horizontaux décroissant ou croissant suivant une progression par quotient dont la raison serait 2. Le calcaire réalise quatre termes consécutifs de cette progression, fournis par les rhomboèdres *équiaxe* et *primitif* (*fig.* 119), *inverse* (*fig.* 122) et *contrastant* (*fig.* 116). En désignant par *a* l'axe horizontal du primitif, cette progression serait $\div\div\ 2\,a : a : {}^1/_2\,a : {}^1/_4\,a$.

solide dérivé par les hachures qui affectent seulement celles du rhomboèdre alterne. On voit encore, dans cette figure, qu'il serait facile de construire immédiatement le dirhomboèdre en joignant entre eux, et ensuite avec les sommets du type, les milieux des arêtes latérales.

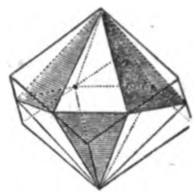


Fig. 124.

Le troisième cas remarquable que nous avons annoncé résulte de la position verticale des troncatures (*fig.* 125). Il est évident qu'alors ces facettes *e*, prolongées, ne se rencontreraient sur l'axe ni au-dessus ni au-dessous, puisqu'elles lui seraient parallèles ; mais que, en approchant de plus en plus de cette droite par l'approfondissement, ou bien si on les prolongeait, elles finiraient par se rencontrer latéralement suivant des droites verticales. Le résultat définitif serait évidemment un prisme hexagonal régulier *rhomboïdé* (*fig.* 126), semblable à celui déjà obtenu par la troncature des arêtes latérales (voyez l'explication donnée pages 62 et 63 et les figures qui l'accompagnent) ; seulement il aurait une autre position par rapport aux sommets du rhomboèdre primitif, et ses axes horizontaux passeraient par les milieux des arêtes verticales. Ce nouveau prisme, au reste, pourrait, comme le premier, être pourvu de deux bases et jouerait aussi le rôle de forme simple, si l'on joignait à la modification qui nous occupe la troncature des sommets du rhomboèdre primitif. Ce prisme, alterne relativement à celui que l'on obtient par la troncature des arêtes latérales, se présente fréquemment dans la nature. Il est particulièrement habituel dans l'espèce calcaire.

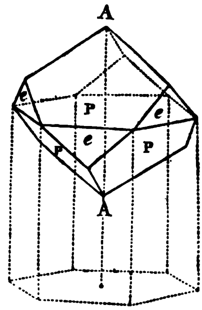


Fig. 125.

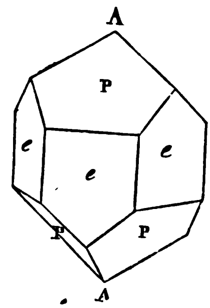


Fig. 126.

Bisellement. — Toutes les arêtes du rhomboèdre sont susceptibles de recevoir un biseau. Nous allons examiner d'abord l'effet de cette modification appliquée aux arêtes latérales ; nous nous occuperons ensuite des arêtes culminantes.

— *Arêtes latérales.* Le bisellement des arêtes appartenant à cette

catégorie introduira, sur chacune d'elles, deux plans *r*, dont l'un montera et l'autre se dirigera vers le sommet inférieur (*fig.* 127 et 128). D'où il résultera, si l'on prolonge tous ces nouveaux plans jusqu'à leur rencontre mutuelle, un solide fermé à douze faces, six au-dessus, six au-dessous. Pour nous rendre raison de la forme de ce solide, considérons les six plans supérieurs et voyons ce qui se passera lorsqu'ils viendront à s'entrecouper au-dessus du type. Il est d'abord évident que ces plans se distribueront deux par deux sur les trois faces de ce rhomboèdre et que, sur chacune d'elles, les deux plans qui s'y rapportent se couperont suivant une droite correspondant à la diagonale oblique. Cette droite ira rencontrer l'axe en un point où viendront concourir encore, non-seulement les deux autres arêtes d'intersection analogues à la première, mais encore celles qui résulteraient de la rencontre des faces appartenant à des biseaux situés de part et d'autre d'une arête culminante du type.

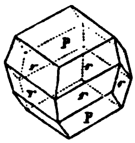


Fig. 127.

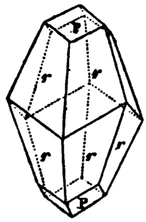


Fig. 128.

Le résultat définitif sera donc une pyramide composée de six triangles à deux sortes d'arêtes, les unes correspondant à celles du rhomboèdre fondamental et les autres aux diagonales des faces de ce même type. Dans la partie inférieure du rhomboèdre, les plans descendants produiraient une pyramide égale à la première, mais avec alternance dans la position des arêtes et des faces. On aurait donc définitivement un dodécaèdre à triangles scalènes dont la base serait un zigzag composé de droites parallèles aux arêtes latérales du type.

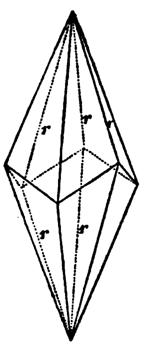


Fig. 129.

Les Allemands ont donné à ce solide (*fig.* 129) le nom de *scalénoèdre*. On aurait pu l'obtenir par des plans menés deux à deux suivant les arêtes latérales du rhomboèdre, auquel cas la base de la forme dérivée aurait été formée par ces arêtes elles-mêmes.

L'angle du biseau ou des plans tangents qui donnent naissance à cette forme pourrait recevoir une infinité de valeurs, si l'on ne consultait que la loi de symétrie. Il y aurait donc théoriquement,

sur les arêtes latérales d'un rhomboèdre donné, une infinité de scalénoèdres possibles ; mais la nature n'en offre qu'un petit nombre, et leurs axes se conforment d'une manière remarquable à la loi de rationalité. Le plus intéressant et le plus fréquent de tous (*fig.* 129), qui est une des formes habituelles du calcaire, est caractérisé par un axe triple de celui du rhomboèdre primitif (1). L'angle obtus de chacune de ses faces est égal à celui des rhombes du type, et l'angle dièdre le plus ouvert est identique à l'angle dièdre obtus du même solide ; de sorte qu'il y a une espèce de transport (μετάστασις) des angles caractéristiques du rhomboèdre fondamental sur ce scalénoèdre que Haüy a désigné, pour cette raison, par le nom spécial de *métastatique* Le calcaire offre encore d'autres scalénoèdres, dont l'un, l'*axigraphe*, est très-élancé ; son axe est neuf fois aussi grand que celui du rhomboèdre type.

— *Arêtes culminantes.* Des troncatures (*fig.* 130) ou des plans tangents géminés, placés d'une manière symétrique sur chaque arête culminante, donneraient lieu évidemment à un solide fermé à douze faces triangulaires, c'est-à-dire à un scalénoèdre qui différerait du précédent par la disposition de ses arêtes basiques. En effet, celui-ci avait pour base les arêtes latérales du type dont il conservait les axes secondaires, tandis que celui que nous considérons en ce moment se lierait au type par l'identité de l'axe principal, les longueurs des axes secondaires pouvant être regardées comme se rapportant à un rhomboèdre plus obtus.

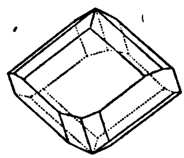


Fig. 130.

Les scalénoèdres de cette sorte sont plus déprimés que le rhomboèdre primitif ; ceux que nous avons vu naître sur les arêtes latérales sont, au contraire, plus aigus.

Enfin, on arriverait encore à des scalénoèdres qui, dans la plupart des cas, seraient plus aigus que le type, en remplaçant les angles solides latéraux par des biseaux obliques (*fig.* 131) alternativement dirigés vers le haut et vers la partie inférieure de l'axe.

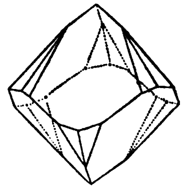


Fig. 131.

(1) Son volume égale aussi trois fois celui de ce rhomboèdre, tandis que sa surface est double.

Pointement. — Les angles culminants étant les seuls qui offrent trois angles plans égaux, eux seuls, par conséquent, sont susceptibles de supporter un pointement qui peut être simple ou double.

Pointement simple. Il est permis de le faire sur les faces (direct), ainsi que le représente la figure 132, ou sur les arêtes (indirect). Dans l'un et l'autre cas, on obtient, par le prolongement des facettes de modification, trois plans supérieurs également inclinés sur l'axe, et trois plans inférieurs inclinés comme les premiers et parallèles à ces mêmes plans deux à deux, disposition qui ne peut produire autre chose qu'un rhomboèdre plus surbaissé que le type, ayant une position directe dans le premier cas et alterne dans le second, rhomboèdre dont la forme particulière variera, d'ailleurs, suivant l'inclinaison qu'on aura adoptée pour les facettes du pointement.

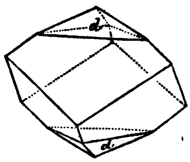


Fig. 132.

Pointement double. Par l'effet de cette modification, chaque extrémité supérieure d'arête serait interceptée par deux facettes *i* également inclinées de part et d'autre; ce qui produirait six facettes à chaque sommet, avec des inclinaisons de deux espèces alternant entre elles (*fig.* 133), et il n'est pas difficile de voir que le solide résultant de l'ensemble de ces facettes prolongées serait un scalénoèdre déprimé. Dans le cas particulier où l'inclinaison, choisie pour chaque couple de facettes modifiantes, se trouverait égale à celle d'une de ces facettes sur la facette voisine du couple suivant, il n'y aurait plus alors qu'une sorte d'inclinaison et le scalénoèdre passerait au dodécaèdre triangulaire régulier à base hexagonale, forme déjà obtenue comme solide de combinaison par des troncatures convenablement faites sur les angles latéraux du rhomboèdre type (voyez la figure 123).

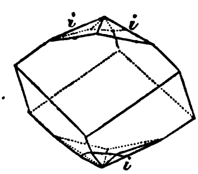


Fig. 133.

Récapitulation; notions complémentaires. — En résumé, on voit que toutes les modifications possibles du rhomboèdre ne produiraient que quatre formes simples, savoir :

Le rhomboèdre,	le prisme hexagonal régulier,
le scalénoèdre,	le dirhomboèdre —

Encore les deux dernières sont-elles à la rigueur des solides composés. En effet nous avons vu que le dirhomboèdre n'est autre chose qu'une combinaison du rhomboèdre type avec un autre rhomboèdre égal à celui-ci, mais dans une position alterne. Le prisme lui-même n'est pas une forme simple dans toute la force du terme puis qu'il ne peut s'obtenir que par deux modifications. Nous savons d'ailleurs qu'il y a deux positions pour ce prisme. Dans la première (directe, *fig.* 107), les axes secondaires joignent les milieux des arêtes opposées; dans la seconde (alterne *fig.* 108), ils seraient déterminés par les centres des faces.

Nous signalerons plus loin les différences que ces prismes offrent avec ceux du système normal au point de vue des propriétés physiques.

Scalénoèdre; ses dérivations. Le rhomboèdre et le scalénoèdre sont réellement les formes principales et caractéristiques du sous-système, et il faut bien remarquer que, non-seulement elles ne se trouvent pas parmi les formes dérivées du prisme hexagonal holoèdre, mais que leur symétrie même est réellement incompatible avec celle du système normal. Nous n'avons rien à ajouter à l'étude que nous avons faite, en commençant, du premier de ces deux polyèdres; mais nous devons compléter les courtes notions qus nous avons données sur le scalénoèdre dont nous reproduisons ici la figure avec les axes (*fig.* 134), et mettre sur la voie de ses principales dérivations.

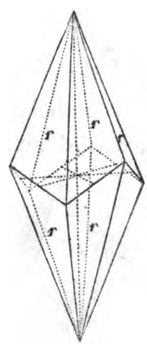


Fig. 134.

Voici les éléments de sa forme et de sa symétrie :

12 faces triangulaires scalènes égales.

18 arêtes.	6 culminantes saillantes. 6 — déprimées. 6 latérales ou basiques.
8 angles solides. . .	2 culminants sextuples. 6 latéraux quadruples.

Les axes secondaires s'obtiennent ici, comme dans le rhomboèdre, en joignant les milieux des arêtes latérales opposées; et, en effet, ces arêtes forment un zigzag identique à celui qui résulterait de l'ensemble des arêtes latérales d'un rhomboèdre considéré comme type.

Ce solide pourrait servir de base, aussi bien que le rhomboèdre, pour le système que nous étudions, et il ne serait pas difficile d'en déduire toutes les formes simples que nous avons dérivées de ce dernier polyèdre. Ainsi, par exemple, les rhomboèdres s'obtiendraient par la troncature des arêtes culminantes, soit de la première, soit de la deuxième espèce, ou par le pointement simple sur trois parties identiques de chaque sommet. Le prisme hexaèdre résulterait de la troncature verticale des arêtes latérales ou des angles latéraux, combinée avec celle des sommets. Un pointement exécuté aux sommets, sur les deux sortes d'arêtes, avec la même inclinaison sur l'axe, donnerait deux rhomboèdres du même angle, alternes l'un de l'autre, dont la combinaison produirait un dirhomboèdre régulier.

Caractères hémiédriques du rhomboèdre et du scalénoèdre. Les deux formes caractéristiques du système rhomboédrique peuvent être regardées comme des hémiédries de formes correspondantes holoédriques du système hexagonal ; de sorte que le sous-système que nous venons d'étudier est essentiellement hémiédrique. En effet, le rhomboèdre résulterait du dodécaèdre régulier à triangles isocèles (dihexaèdre du système hexagonal), ainsi qu'on peut le voir clairement dans la figure 135, en prolongeant jusqu'à leur rencontre mutuelle trois faces contiguës (1, 3, 5) de la pyramide supérieure (celles, par exemple, qui ne portent pas d'ombre dans la figure), et les faces alternes (2, 4, 6) de la pyramide inférieure.

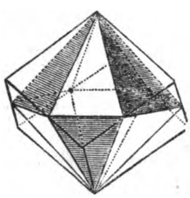


Fig. 135.

De même, le scalénoèdre n'est réellement qu'un demi-didodécaèdre ; car il pourrait s'obtenir par la suppression de la moitié des faces de ce solide (*fig.* 111), les faces restantes étant prolongées jusqu'à se couper réciproquement.

Des prismes hexagonaux ; leur structure. Les prismes hexagonaux qui dérivent du rhomboèdre ne diffèrent en rien, quant à la forme et aux dimensions, de ceux du système normal : mais ils s'en distinguent par leurs propriétés physiques et principalement par la structure. Ainsi, tandis que, dans l'émeraude et dans l'apatite, les clivages, quand ils existent, se font parallèlement aux bases ou aux faces latérales, on ne réussit à cliver les prismes du calcaire que par des plans obliques, et seulement sur trois des arêtes basiques du prisme direct, de chaque côté, ou sur trois

des angles du prisme alterne. La figure 136 montre bien, par la direction des stries qu'on y a tracées sur les faces, cette structure, pour ainsi dire rhomboédrique, du prisme alterne.

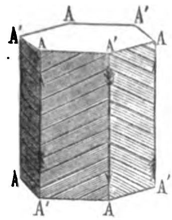
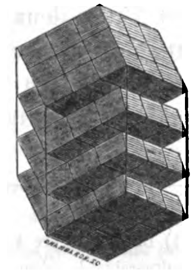

Fig. 136.


Fig. 137.

La figure 137 est destinée à donner une idée de celle du prisme direct. Ici la direction des stries, parallèle aux côtés des bases, semblerait indiquer au moins une analogie de structure avec le prisme normal ; mais on remarquera que les lignes parallèles qui représentent ces stries ne sont pas identiques sur toutes les faces, les 'unes étant pleines et les autres ponctuées. Cette différence graphique correspond à une différence réelle dans la position des plans de clivage qui interceptent ici les arêtes basiques, plans qui se trouvent alternativement dirigés vers le haut et vers le bas. Nous avons figuré, par une flèche tracée au milieu des faces, cette disposition alterne dans les deux sens du clivage, disposition qui n'est qu'un reflet ou une conséquence du caractère qui distingue spécialement le sous-système rhomboédrique. On pourrait aussi employer ces flèches dans le cas du prisme alterne ; mais alors il ne faudrait plus les placer sur les faces, mais bien sur les arêtes, ainsi que le montre la figure 136.

Il est facile de se rendre raison de cette espèce de symétrie intérieure des prismes du calcaire. En effet, le clivage indique clairement, dans l'espèce que nous venons de citer et, en général, dans tous les cristaux du système rhomboédrique, que la molécule intégrante ou l'élément de la structure a pour forme un rhomboèdre. Les prismes, dont nous venons de signaler les caractères particuliers, doivent donc être composés de petits rhomboèdres, tandis qu'il est naturel de supposer que le prisme du système normal et les formes holoédriques qui en dérivent sont constitués par des molécules hexagonales. La figure 138 représente grossièrement cette hypothèse réalisée pour le prisme alterne que


Fig. 138.

nous prenons à l'état où il se trouve par l'effet de la troncature

pure et simple des arêtes latérales du rhomboèdre. Ici, on voit nettement, bien que la base du prisme n'existe pas, que les angles seront dans les mêmes conditions que ceux du rhomboèdre lui-même, et qu'aux uns se présenteront, du côté de cette base, des faces de molécules, les autres ayant devant eux des arêtes culminantes. Dans ce prisme, les arêtes basiques seront identiques comme celles du rhomboèdre lui-même, et les faces rempliront les mêmes conditions essentielles. Dans le prisme direct, représenté figure 139, avec le rhomboèdre primitif qui lui donne naissance par la troncature des angles latéraux, on voit que la différence, ou plutôt l'alternance, porterait sur les arêtes basiques ; car les unes 1, 3, 5, considérées relativement au demi-rhomboèdre supérieur, par exemple, correspondraient à des faces, et les autres à des arêtes (1).

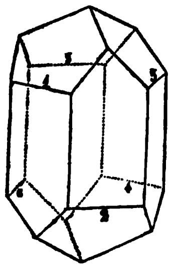


Fig. 139.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire, que l'hémiédrie des prismes hexagonaux appartenant au sous-système rhomboédrique, loin de constituer une anomalie ou une exception, est une conséquence toute simple de la symétrie du rhomboèdre.

Dans les prismes hexagonaux holoédriques, composés de molécules hexagonales, toutes les parties appartenant à une même catégorie géométrique, comme les angles et les arêtes basiques, seraient identiques physiquement, et ne pourraient, par conséquent, servir de base à une hémiédrie quelconque.

La structure particulière des prismes hexagonaux qui dérivent du rhomboèdre entraîne comme conséquence, ainsi que nous l'avons expliqué, deux sortes d'angles que nous désignerons par A et A′, ou deux sortes d'arêtes D et D′. En tenant compte de cette circonstance, suffisamment indiquée dans les figures 136 et 137, on pourrait faire dériver facilement des prismes toutes les formes du sous-système. Le rhomboèdre, par exemple, s'obtien-

(1) Dans la figure 139, on ne voit pas, il est vrai, les molécules élémentaires qui constitueraient le prisme ; mais il est évident qu'elles occuperaient, dans la structure de ce solide, la même position que le rhomboèdre primitif par lequel le prisme se trouve être ici terminé.

drait, en partant du prisme alterne (*fig.* 136), par la troncature des angles A, et dans le prisme direct (*fig.* 137) par celle des arêtes D. On arriverait aux scalénoèdres par des biseaux obliques placés alternativement sur les angles de l'une ou de l'autre catégorie.

Exemples naturels. — Il existe un grand nombre de minéraux qui cristallisent très-nettement dans ce système ; mais aucun ne peut être comparé, sous ce rapport, au calcaire, qui offre une variété de formes réellement remarquable.

Les rhomboèdres secondaires y sont nombreux, et quelques-uns, comme l'équiaxe et l'inverse, se montrent très-souvent ; le rhomboèdre primitif, de 105°, est, au contraire, très-rare. Le calcaire offre aussi plusieurs scalénoèdres, dont un seulement, le métastatique, est une des formes habituelles de cette espèce. Le prisme hexagonal (le direct surtout) se présente encore assez fréquemment.

Quant au dihexaèdre ou dirhomboèdre, il ne se rencontre, en général, que dans des cristaux très-composés, à l'état de facettes secondaires. Les cristaux avec modifications et les cristaux composés sont extrêmement nombreux. On en compte plus de mille qui réalisent à peu près toutes les combinaisons imaginables. Une des plus remarquables est l'*analogique* (*fig.* 140), où se trouvent réunies trois formes habituelles du calcaire : le prisme hexagonal *e*, le scalénoèdre métastatique *r* et le rhomboèdre équiaxe *o*.

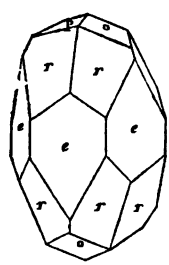


Fig. 140.

La dolomie, la sidérose, la diallogite, qui ont beaucoup d'analogie avec le calcaire, présentent cependant cette circonstance différentielle, que les formes secondaires y sont peu nombreuses et que le rhomboèdre primitif est, pour ces espèces, une forme très-habituelle.

Parmi beaucoup d'autres bons exemples relatifs au système rhomboédrique, nous nous contentons de mentionner le corindon, l'argyrythrose (argent rouge) et l'oligiste. Les formes de la deuxième espèce rappellent singulièrement celles du calcaire. Les cristaux du corindon, particulièrement du corindon *hyalin* (télésie), en diffèrent, au contraire, en ce qu'ils offrent habituellement le dihexaèdre, ou plutôt le dirhomboèdre, qui

est presque étranger aux autres minéraux que nous venons de citer.

Hémiédrie du quartz. — Les cristaux du quartz offrent un caractère particulier d'hémiédrie qu'il est essentiel de faire connaître.

La forme dominante et en même temps habituelle de cette espèce, l'une des plus importantes de la minéralogie, est un prisme hexagonal terminé par des pyramides régulières à six faces. On pourrait être tenté, au premier abord, de rapporter ces cristaux au système hexagonal; mais la position alterne des faces pyramidales, dans certains individus, sur trois des arêtes basiques du prisme, la forme rhomboédrique, d'ailleurs, qu'offrent quelques cristaux, ont déterminé tous les minéralogistes à rattacher son système cristallin au rhomboèdre. On considère alors ses pointements comme des dirhomboèdres, et, en effet, certains cristaux présentent sur chaque pyramide, lorsqu'on les examine avec attention, trois faces d'un éclat plus vif alternant avec trois autres plus ternes.

Voici maintenant ce qui fait que le quartz offre une variété particulière sous le rapport cristallographique. Outre les modifications citées, et d'autres encore qui pourraient se présenter aussi bien dans tout minéral dépendant du système rhomboédrique, les cristaux de ce minéral montrent souvent, sur plusieurs ou sur tous les angles du prisme, à la naissance de chaque pyramide terminale, des faces inclinées toutes d'un côté, soit à droite, soit à

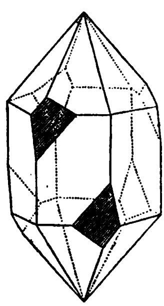


Fig. 141.

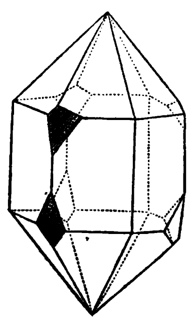


Fig. 142.

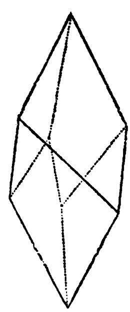


Fig. 143.

gauche, dans un sens oblique relativement à l'axe, ce qui constitue une dissymétrie, une sorte d'hémiédrie. La figure 141 offre

trois de ces faces à la partie supérieure du prisme, et trois autres, alternant avec les premières et disposées en sens inverse, posées sur les angles inférieurs. Dans la figure 142, les mêmes faces, au lieu d'être alternes, se correspondent aux extrémités d'une même arête du prisme. Ces facettes, auxquelles Haüy avait imposé le nom de *plagièdre,* sont toutes tournées dans le même sens mais obliquement sur une même base du prisme et affectent, par conséquent, une disposition rotatoire oblique à l'axe (1). On conçoit que ces faces plagièdres, soit qu'elles affectent trois seulement des angles des bases supérieure et inférieure, ou tous ces angles à la fois, devraient produire, par leur entrecroisement, des solides à faces quadrilatères très-singuliers et particuliers au quartz. La nature ne les a pas encore offerts à l'état complet (2). La figure 143 représente un de ces solides, celui qui pourrait résulter de la réunion ou de l'extension des faces plagièdres de la figure 142 où les faces se correspondent en haut et en bas.

La même espèce est encore susceptible d'offrir, sur un ou plusieurs de ses angles latéraux, une facette également inclinée de part et d'autre et qui prend alors la forme rhomboïdale. Si l'on supposait six de ces facettes aux extrémités de trois arêtes 1, 3, 5 ou 2, 4, 6, on pourrait, en les prolongeant, leur faire produire un nouveau solide composé de deux pyramides triangulaires opposées base à base (*ditrièdre,* Delafosse) qui n'existe pas, non plus que le précédent, parmi les cristaux naturels.

Nous devons dire que les faces dissymétriques qui viennent d'être signalées ne sont nullement assujéties au nombre et à la position que nous avons supposés. On n'en voit souvent qu'une seule ou deux sur une même pyramide, et elles ont un caractère

---

(1) On sait que cette dissymétrie est en rapport intime avec une propriété physique que le quartz possède exclusivement parmi les minéraux. Je veux parler de la *polarisation circulaire* dont on doit la découverte à M. Arago; et il est bien remarquable que le sens de cette polarisation soit en relation constante avec celui des faces plagièdres.

(2) La dissymétrie que nous venons de signaler et qui ne se présente jamais, ainsi que nous venons de le dire, et encore d'une manière assez irrégulière, que dans l'espèce quartz, a paru assez importante à M. Delafosse pour servir de base à l'établissement d'une espèce distincte dans son genre hexagonal. Le même auteur a pris un parti semblable à l'égard de la craitonite, qui porte, sur certains cristaux rhomboédriques, de petites facettes qui constituent une hémiédrie rotatoire perpendiculaire à l'axe.

à peu près accidentel et une position qu'on pourrait supposer arbitraire.

SOUS-SYSTÈME TRIGONAL.

Un axe unique.
Progression : ÷ 3. 6. 9. 12. 15...
Forme fondamentale : **la pyramide triangulaire régulière.**
Molécules............. même forme.

Le sous-système que nous appelons *trigonal* a été créé pour une seule espèce, la *tourmaline,* qui offre des anomalies constantes, remarquées de tous temps, et qui tiennent certainement à une structure particulière des cristaux de ce minéral, qui ont presque toujours une forme prismatique. Ces anomalies sont de deux espèces : les unes se rapportent aux parties latérales du cristal et les autres à ses extrémités.

Dans le système hexagonal, nous avions, autour de l'axe principal, constamment six parties identiques, et l'on pouvait dire que cet axe avait six côtés de symétrie, qu'il était *sélatéral.* Dans le sous-système rhomboédrique, les parties de même valeur marchaient encore par six; mais elles étaient disposées, avec alternance, de trois en trois, en haut et en bas, et l'axe, sélatéral encore dans son ensemble, n'était que trilatéral dans chacune de ses moitiés, les trois côtés de l'une alternant avec ceux de l'autre. Ici l'axe est absolument *trilatéral.* C'est en cela que consiste la première anomalie. En vertu de cette propriété spéciale, le prisme triangulaire est possible dans ce sous-système, tandis qu'il ne peut exister parmi les formes qui dérivent du prisme hexagonal ou du rhomboèdre. La nature ne l'a pas offert encore seul, mais il se montre, dans la plupart des cristaux prismatiques de la tourmaline, combiné avec des troncatures faites sur trois de ses arêtes verticales, de manière à produire un prisme hexagonal, ou avec des biseaux qui affectent les mêmes arêtes. Dans ce dernier cas, que représente la figure 144, où les faces du prisme sont désignées par *a* et celles des biseaux par *s*, le cristal composé prend la

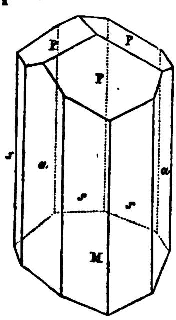


Fig. 144.

forme d'un prisme à neuf pans. Ce prisme, qui est la forme dominante de la tourmaline, coupé transversalement présente une figure à neuf côtés, mais triangulaire dans son ensemble, qui constitue un trait caractéristique pour le minéral dont il est question.

L'autre anomalie, que montre également la figure 144, est offerte par une dissymétrie constante qui affecte les extrémités des prismes : l'une pouvant offrir un pointement à trois faces P, tandis que l'autre consiste en une base M. Il arrive assez ordinairement que les deux extrémités portent d'autres faces ou facettes ; mais ces modifications ne sont pas les mêmes en haut et en bas. On sait, au reste, que cette dissymétrie terminale est en rapport avec la polarité pyro-électrique de la tourmaline.

Les auteurs rapportent généralement toutes les formes de la tourmaline à un rhomboèdre de 133° 36′ qu'ils considèrent comme la forme primitive de l'espèce ; mais, dans cette manière de voir, il faut renoncer à se rendre compte de la double hémiédrie dont nous venons d'indiquer les principaux traits. Quant à nous, il nous répugne d'accuser la nature d'une pareille inconséquence, et nous voyons dans la cristallisation de la tourmaline un plan particulier dont nous cherchons les linéaments dans la structure du minéral ou, en d'autres termes, dans la forme de sa molécule intégrante. Or, il est une forme qui nous offre un moyen de faire tout rentrer dans les lois naturelles : c'est celle de la *pyramide droite ayant pour base un triangle équilatéral.* Ce solide, considéré comme type du système, conduit à toutes les formes de la tourmaline par des modifications absolument symétriques en prenant toutefois, pour l'inclinaison de ses faces, l'angle de 133° 36′ qui caractérise le rhomboèdre admis jusqu'à ce jour comme solide fondamental. Cette pyramide, que presque tous les cristaux naturels présentent au moins à l'une de leurs extrémités (faces P de notre figure), n'est autre chose, en quelque sorte, que la moitié supérieure de ce rhomboèdre.

Nous ferons remarquer qu'il n'y a réellement qu'un axe dans cette forme pyramidale : c'est l'axe principal, auquel on doit supposer, comme nous l'avons déjà dit, trois côtés de symétrie et des extrémités ayant chacune une vertu particulière.

Nous indiquerons rapidement les modifications qu'il faudrait exécuter sur ce type pour obtenir les diverses formes secondaires de la tourmaline.

D'abord, la troncature verticale des angles ou des arêtes combinée avec celle du sommet, qui est nécessairement horizontale, donne des prismes triangulaires, les uns directs, les autres alternes, dont la combinaison peut produire le prisme hexagonal régulier. Le prisme triangulaire, obtenu par la troncature des arêtes ou des angles, combiné avec des biseaux à faces verticales posés sur les trois angles basiques, donnerait le prisme à neuf pans, si habituel à la tourmaline. Dans celui de la figure 144, les faces *a* du prisme triangulaire résulteraient de la troncature des angles basiques.

Le pointement direct ou inverse du sommet conduirait à toutes les pyramides que l'on remarque à l'extrémité des prismes, pyramides qui sont ordinairement considérées comme des demi-rhomboèdres. Des troncatures obliques dirigées vers le bas, opérées, soit sur les arêtes, soit sur les angles de la base, produiraient, de ce côté, d'autres demi-rhomboèdres qui pourraient rester incomplets ou se compléter par des demi-rhomboèdres semblables de la partie supérieure.

Les troncatures des angles de la base, par des plans parallèles aux faces opposées du type et combinées avec ces faces elles-mêmes, formeraient le rhomboèdre, que les auteurs regardent comme la forme primitive de la tourmaline. Enfin, le demi-scalénoèdre (disent les auteurs) que la partie supérieure du prisme offre quelquefois, pourrait s'obtenir par des biseaux sur les angles basiques.

La pyramide triangulaire que nous avons choisie pour type du système rend compte, comme on le voit, de la manière la plus complète, non-seulement des diverses faces qui entrent dans la composition des cristaux de la tourmaline, mais encore de l'allure trilatérale de ces cristaux et de la dissymétrie, soit entière, soit partielle, de leurs extrémités.

On pourrait à la rigueur rattacher le sous-système de la tourmaline au prisme hexagonal, comme nous l'avons fait pour le système rhomboédrique; mais alors il faudrait supposer ce prisme construit avec des pyramides triangulaires placées verticalement, d'où il résulterait des faces verticales de deux sortes *s* et *s'*, et des bases différentes P et P' en haut et en bas.

La figure 145, qui représente la projection horizontale d'un prisme construit avec de petites pyramides, montre clairement que les faces latérales seront de deux sortes, les unes *s* étant for-

mées par des bases et les autres s' par des angles de molécules. Quant aux faces basiques du prisme, elles seront évidemment différentes au point de vue physique, puisque l'une correspondra à des bases et l'autre à des sommets de molécules.

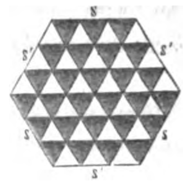


Fig. 145.

Les modifications que l'on ferait subir au prisme, conformément à cette symétrie particulière, conduiraient aux formes que nous venons d'obtenir en partant de la pyramide.

III. SYSTÈME TÉTRAGONAL.

Système du prisme droit à base carrée : Beudant, Dufrénoy.

Le nom de ***tétragonal***, que nous empruntons à M. Naumann, a l'avantage d'indiquer un caractère fondamental de ce système, où toutes les parties et les modifications marchent par quatre. Voici le résumé de tous ses traits caractéristiques :

Trois axes rectangulaires : un principal et deux secondaires égaux entre eux.
Progression symétrique : ÷ 4. 8. 12. 16...
Forme fondamentale : **le prisme carré.**
Forme de la molécule intégrante.... idem.

La symétrie de ce groupe de formes, bien qu'inférieure d'un degré à celle du système régulier, est cependant très-grande; elle est, d'ailleurs, d'une évidence remarquable, et son étude est très-facile.

Forme type. — Le type du système tétragonal est un prisme droit à base carrée (*fig.* 146), que nous appelons, pour abréger, prisme carré (1); il offre :

6 faces.. { 2 bases carrées. / 4 faces latérales rectangulaires.
12 arêtes.. { 8 basiques. / 4 latérales.
8 angles solides droits.

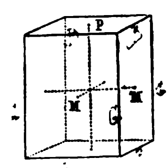


Fig. 146.

(1) Il n'existe pas, dans la nature, de prisme oblique à base carrée.

L'axe principal est déterminé par la ligne qui joint les centres des bases : les deux axes secondaires aboutissent aux milieux des faces rectangulaires opposées.

Troncature — *sur les arêtes*. Les arêtes basiques étant identiques doivent être modifiées toutes à la fois et de la même manière ; la troncature d'une de ces arêtes devra donc se répéter, avec la même inclinaison, sur les sept autres (*fig.* 147). En prolongeant ces troncatures *b* jusqu'à leur rencontre mutuelle sur chaque base, on aura, à chaque extrémité du prisme, une pyramide droite dont les faces seront des triangles isocèles (*fig.* 148). Le prisme se trouvera alors *pyramidé*, circonstance qui se présente assez fréquemment dans la nature (zircon, cassitérite). En entamant le prisme de plus en plus par des plans parallèles, les deux pyramides se porteront à la rencontre l'une de l'autre, et finiront par se réunir en une base commune égale à celle du prisme. On aura ainsi l'octaèdre carré (*fig.* 149). On aurait obtenu le même octaèdre en supprimant le prisme dans la figure 148, et en réunissant les deux pyramides supérieure et inférieure.

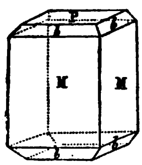


Fig. 147.

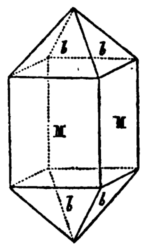


Fig. 148.

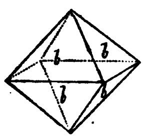


Fig. 149.

La troncature des arêtes latérales produirait quatre faces qui, combinées avec celles du prisme primitif projeté en AAAA (*fig.* 150), formerait un prisme octogonal équiangle, lequel deviendrait régulier par l'égal développement des deux ordres de faces. Enfin, les faces de troncature, prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle, feraient disparaître le prisme type et produiraient le prisme carré dont les sommets sont en A′. Ce prisme est égal au premier, mais il occupe une position alterne.

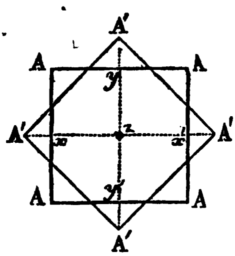


Fig. 150.

— *Sur les angles*. Les huit angles doivent être tronqués à la fois et de la même manière, puisqu'ils sont identiques. L'effet de cette modification sera de produire, sur la base supérieure, qua-

tre plans qui monteront symétriquement de manière à se rencontrer sur l'axe et à former une pyramide dont les faces *a'*(*fig.* 151), au lieu d'être dirigées comme les arêtes, seront parallèles aux diagonales de la base. Une pointe identique se produira aussi au-dessous de la base inférieure ; de sorte que le prisme sera pyramidé d'une manière alterne (zircon). Dans le cas qui nous occupe, la forme des faces de ces pointements ne sera plus un triangle isocèle comme dans le pointement direct, mais bien un quadrilatère qui se trouve être ici un rhombe.

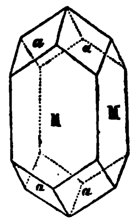


Fig. 151.

Un cas particulier de cette modificatisn doit être signalé. C'est celui où le prisme se raccourcit au point de mettre en contact les extrémités des rhombes qui se trouvent sur une même arête, l'un en haut, l'autre en bas ; alors les faces du prisme se réduisent à quatre rhombes M différents de ceux des pointements et l'ensemble prend la forme d'un dodécaèdre rhomboïdal symétrique (*fig.* 152).

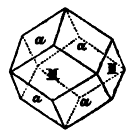
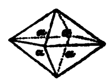


Fig. 152.

Les deux pyramides en continuant à marcher l'une vers l'autre par l'effet de l'approfondissement des troncatures, finiront par se combiner et détermineront ainsi un octaèdre carré alterne (*fig.* 153), dont les axes secondaires se confondront avec les diagonales de la base.


Fig. 153.

Les deux octaèdres direct et alterne peuvent offrir des formes très-variées, en raison de la variabilité de l'inclinaison des plans qui donnent les troncatures. Toutefois la nature n'en a réalisé que quelques-uns dont les axes principaux sont entre eux dans des rapports très-simples, comme celui des nombres 1, 2, 3... ou $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, si l'on suppose toutefois que les axes horizontaux soient égaux dans une même série.

Plusieurs de ces octaèdres peuvent exister ensemble, sur le même cristal, sous forme de facettes ; un seul, celui du sommet, forme ordinairement une pointe. Le cristal peut également se terminer par un sommet à 8 faces (dioctaèdre) composé d'un octaèdre direct combiné avec un octaèdre alterne de même axe vertical.

Bisellement — *sur les arêtes*. Les arêtes latérales seules sont susceptibles de recevoir des biseaux. La figure 154 représente,

en projection horizontale, ces biseaux *h* et le prisme à douze faces qui résulte de leur combinaison avec les faces du type. Les nouvelles facettes, prolongées latéralement jusqu'à la disparition complète du prisme primitif, produiraient un prisme octogonal symétrique à deux sortes d'angles, comprenant, comme cas particulier, le prisme octogonal régulier que nous offre la figure 155.

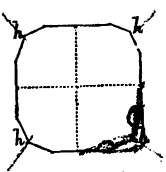


Fig. 154.

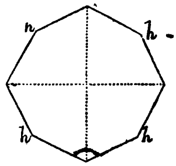


Fig. 155.

Rien ne limite la valeur de l'angle de chaque biseau. Il peut donc y avoir, à la rigueur, une infinité de prismes octogonaux symétriques pour un prisme carré donné ; mais on n'en trouve que très-peu dans la nature, et leurs axes horizontaux sont à ceux du type dans des rapports simples. Des biseaux de divers angles peuvent se combiner et donner des prismes d'un grand nombre de faces pourvu toutefois que ce nombre se conforme à l'exigence de la progression symétrique, c'est-à-dire qu'il soit multiple de 4.

— *Sur les angles*. Cette sorte de biseau résulte de troncatures obliques également inclinées, faites deux à deux aux extrémités de chaque arête latérale. L'ensemble de ces modifications formerait, à la périphérie de la base supérieure, par exemple, huit facettes montantes dont on peut voir la disposition dans la figure 32, page 65, et qui, prolongées, iraient se rencontrer sur l'axe de manière à constituer une pyramide octogonale symétrique à deux sortes d'angles dièdres. La combinaison de cette pyramide avec celle que l'on peut supposer à la partie inférieure du prisme donnerait enfin un solide à seize faces triangulaires (*fig*. 156) ayant pour base un octogone symétrique, qui pourrait même être régulier pour une valeur convenable de l'angle du biseau (celle qui rendrait cet angle égal à l'incidence d'une facette d'un biseau sur celle du biseau voisin). M. G. Rose appelle ce solide *dioctaèdre*. Il peut y en avoir plusieurs pour un même prisme, mais à la condition d'être assujétis à la loi de rationalité des axes. La nature ne présente jamais cette forme qu'à l'état de facettes, qui sont rarement assez développées pour constituer un sommet.

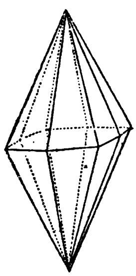


Fig. 156.

Récapitulation ; notions sur l'octaèdre. — De toutes les modifications précédentes, les seules possibles dans les conditions où nous étions placé pour les faire, il n'est sorti que trois formes simples qui, ajoutées au prisme carré, donnent en tout quatre formes simples pour le système tétragonal ; ce sont :

Le prisme carré,	le prisme octogonal symétrique,	
l'octaèdre carré,	le dioctaèdre	Idem.

auxquels il faut ajouter le *prisme octogonal régulier* et le *dioctaèdre droit à base régulière,* mais seulement à titre de cas particuliers ou de combinaisons remarquables.

Les deux premières formes sont évidemment les plus caractéristiques. Nous allons dire un mot de la symétrie et des dérivations de la seconde.

L'octaèdre carré peut être considéré comme composé de deux pyramides droites appuyées sur une base commune qui est un carré. Il a :

8 faces (triangles isocèles égaux).
12 arêtes. . . . { 8 culminantes. 4 basiques.
6 angles. . . . { 2 culminants. 4 basiques.

L'axe principal joint naturellement les deux sommets. Les axes secondaires réunissent les milieux des arêtes basiques opposées si l'octaèdre est direct. Dans l'octaèdre alterne, ces axes secondaires se confondraient avec les diagonales de la base.

Le prisme carré se déduit facilement de l'octaèdre direct par la troncature des arêtes (prisme carré direct) ou par celle des angles basiques (prisme alterne), combinées avec celle des sommets.

Le prisme octogonal équiangle s'obtiendrait par des biseaux placés sur les angles de la base au dépens des arêtes basiques et par la troncature des angles culminants.

Le dioctaèdre symétrique pourrait être donné par plusieurs modifications. La plus simple consiste dans le bisellement des arêtes culminantes.

Exemples naturels. — Les cristaux naturels appartenant

au système tétragonal sont ordinairement nets et faciles à étudier. La plupart offrent le prisme carré comme forme dominante ; quelques-uns l'octaèdre. Le dioctaèdre symétrique ne se présente qu'à l'état de facettes, sauf cependant dans quelques cristaux de cassitérite du Cornouailles, où il forme un pointement complet assez aigu de chaque côté du prisme.

Le zircon, l'idocrase et la cassitérite sont les meilleurs exemples à citer pour les cristaux prismatiques.

La forme la plus habituelle du zircon est un prisme carré intact ou modifié sur les arêtes, mais toujours dominant et habituellement terminé par un octaèdre direct (*fig.* 148) ou alterne (*fig.* 151) ; ce dernier est le plus commun. Plusieurs octaèdres se trouvent indiqués, sur certains cristaux, par des facettes très-étroite qui bordent la base parallèlement aux côtés. Les plus fréquents ont pour axes $^1/_2$ et $^1/_3$, celui de l'octaèdre principal étant 1.

Les cristaux d'idocrase, plus volumineux que ceux de zircon, sont tout aussi nets et très-symétriques. Le prisme carré s'y distingue toujours ; habituellement il porte sur ses arêtes verticales une ou trois facettes. Ses bases peuvent être simples ; mais ordinairement elles sont bordées par les facettes des deux octaèdres, l'un direct, l'autre alterne. Certains cristaux sont très-remarquables par la multiplicité, la netteté et la symétrie de ces facettes terminales ; mais ces petites faces restent toujours groupées, sous forme de bordures, aux angles du prisme fondamental et tout autour des faces de l'octaèdre direct dont l'axe est 1, de manière à laisser dominer ces faces et celles du prisme primitif. Si elles étaient prolongées, elles produiraient de nouveaux octaèdres, et notamment ceux qui auraient pour axes $^1/_3$ et 3, et des dioctaèdres. M. Lévy a figuré et décrit un cristal du Vésuve qui, outre les deux bases, offre cent quarante-quatre faces et facettes, nombre remarquable par sa symétrie.

La forme dominante de la cassitérite est encore un prisme carré ; mais celui-ci est toujours terminé par des pyramides directes ou inverses qui se montrent souvent ensemble sur le même cristal. Les arêtes verticales du prisme sont fréquemment remplacées par des facettes. Les cristaux de cassitérite sont habituellement géminés avec pénétration mutuelle, circonstance qui rend leur étude assez difficile.

Parmi les minéraux qui offrent nettement l'octaèdre carré comme

forme dominante, on peut citer le mellite. La forme la plus habituelle de cette espèce organique est un octaèdre carré un peu déprimé relativement à l'octaèdre régulier. Cet octaèdre est le plus souvent simple. Les modifications qu'il offre quelquefois sont elles-mêmes d'une grande simplicité : ce sont des troncatures sur tous les angles ou seulement sur les quatre angles basiques.

Variétés hémiédriques. Quelques cristaux rares, appartenant aux espèces schéelite, mélinose, fergusonite, offrent, autour de l'axe, certaines facettes inclinées toutes dans un sens, et qui devraient, pour la symétrie, se reproduire en sens inverse. Ainsi, en ce qui concerne la schéelite, qui est d'ailleurs un des premiers minéraux à citer pour les formes octaédriques, M. Lévy a fait connaître un beau cristal dont la forme dominante est un octaèdre obtus portant à sa base d'assez nombreuses facettes, parmi lesquelles huit d'une certaine espèce (quatre au-dessus et quatre au-dessous de la base) se trouvent placées obliquement d'un côté seulement des arêtes de l'octaèdre, tandis qu'elles devraient se répéter avec la même inclinaison du côté opposé, de manière à produire les éléments d'un dioctaèdre symétrique. Cette hémiédrie, est tout à fait analogue à celle qui a été signalée plus haut pour l'apatite et nous ne pouvons la considérer que comme un cas particulier curieux.

SOUS-SYSTÈME SPHÉNOÉDRIQUE.

Forme type : **le sphénoèdre.**
Molécules.......... sphénoédriques.

Le solide que nous prenons pour type de ce sous-système est une espèce particulière de tétraèdre (*fig.* 157) qui est au prisme carré ce qu'est le tétraèdre régulier au cube. On peut l'obtenir, par conséquent, en partant du prisme carré, suivant le procédé donné plus haut pour déduire le tétraèdre régulier du cube. Traçons sur l'une des bases du prisme

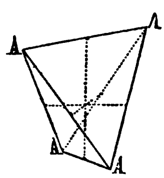


Fig. 157.

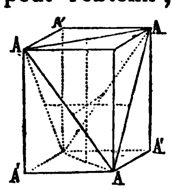


Fig. 158.

(*fig.* 158) une diagonale et, sur l'autre base, une autre diagonale alterne, ou perpendiculaire relativement à la première, puis joignons, par des diagonales menées sur les faces latérales,

les extrémités des premières. Le solide qui résultera de cette construction, dégagé du prisme par l'enlèvement des portions excédantes, offrira la forme d'un coin à deux tranchants perpendiculaires l'un à l'autre ; c'est le *sphénoèdre.*

Ce solide a quatre faces égales P qui sont des triangles isocèles. Ses arêtes sont de deux sortes : les deux tranchants du coin, qui servent de bases aux triangles et qui correspondent aux diagonales des bases du prisme, constituent une première catégorie ; elles doivent être placées horizontalement, de manière à faire avec l'observateur un angle de 45° ; mais les autres arêtes, au nombre de quatre, correspondant aux diagonales des pans du même prisme, sont égales entre elles et occupent une position latérale. Les angles solides sont égaux ; ils se composent chacun de deux angles basiques et d'un angle du sommet des faces triangulaires. En résumé, le sphénoèdre nous offre :

4 faces (triangles isocèles égaux).
6 arêtes. . . . { 2 arêtes culminantes. / 4 arêtes latérales. }
4 angles solides égaux.

La position des axes est facile à comprendre lorsqu'on se rappelle la relation qui lie le sphénoèdre au prisme. L'axe principal joindra naturellement les milieux des arêtes culminantes. Les axes secondaires ou horizontaux seront déterminés par les milieux des arêtes latérales opposées.

Dérivations. — Les arêtes latérales du sphénoèdre peuvent être considérées, ainsi que nous venons de le dire (on le voit très-bien d'ailleurs dans la figure 158), comme les diagonales des faces verticales du prisme carré ; il suffirait donc, pour faire naître ces faces sur le premier solide, de faire passer des plans verticaux par ces arêtes ; mais cette opération ne produirait point le prisme complet avec des bases, si elle n'était accompagnée d'une modification semblable des arêtes culminantes ou tranchantes. Sans cette dernière modification, le prisme, au lieu d'être terminé par des carrés horizontaux, offrirait, à ses deux extrémités, des biseaux correspondant aux diagonales alternes des bases.

Ainsi, nous retrouvons ici le prisme carré qui est le type du système tétragonal normal. Toutefois, il faut bien se rappeler que

cette identité de forme n'entraîne pas celle des cristaux eux-mêmes, et il faut admettre que, dans le sous-système sphénoédrique, le prisme carré possède une structure particulière compatible avec la propriété qu'il a de pouvoir être modifié seulement sur quatre de ses angles solides alternes, modification hémiédrique qui reproduirait le sphénoèdre.

Cette condition d'hémiédrie se trouve remplie lorsque l'on suppose le prisme dont il s'agit construit avec de petits sphénoèdres disposés comme le sont les tétraèdres réguliers dans le cube du système tétraédrique (1). Si l'on se rappelle, en effet, ce que nous avons dit du cube composé de tétraèdres, on concevra sans peine que, dans le cas qui nous occupe, l'un des angles dont il est question sera formé par une pointe de molécule sphénoédrique, tandis que ce sera une face qui constituera le sommet opposé. Il y aura donc, dans le prisme carré du sous-système que nous étudions, deux catégories d'angles identiques géométriquement, mais différents au point de vue physique. Nous avons noté cette différence matérielle sur la figure 158, comme nous l'avions fait précédemment pour le cube, par les lettres A et A′.

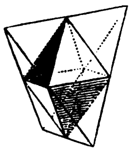
La troncature des quatre angles du type donnerait naissance à quatre facettes qui, prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle, produiraient un sphénoèdre dont les arêtes culminantes seraient perpendiculaires à celles du type, et qu'on pourrait, par conséquent, désigner par l'épithète d'alterne, de même que la troncature opérée sur quatre angles du tétraèdre régulier nous avait donné (*fig.* 85 et 86) un tétraèdre alterne, mais, tandis que cette dernière modification ne pouvait se faire que d'une seule manière à cause de l'égalité des trois angles plans formant chaque angle solide, ici elle est susceptible de prendre toutes les positions compatibles avec une inclinaison identique sur les deux seuls plans égaux qui entrent dans la constitution de l'angle solide. Parmi tous les sphénoèdres qui pouraient résulter de ces diverses positions de la troncature, il en est un qui serait absolument égal ou semblable au type, et dont la combinaison avec celui-ci produirait un octaèdre

---

(1) La figure 90, page 107, peut très-bien servir pour représenter cette structure, pourvu qu'on veuille bien supposer que les petits tétraèdres qui constituent le cube par leur assemblage, sont des molécules sphénoédriques, et que le cube lui même est allongé dans le sens vertical, auquel cas il deviendrait un prisme carré.

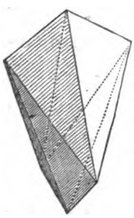
carré. Nous pouvons indiquer un procédé très-simple pour l'obtenir directement. Il consiste à joindre, sur chaque face du tétraèdre primitif, les milieux de toutes les arêtes, ce qui déterminera quatre petits sphénoèdres correspondant aux quatre angles solides du type, que l'on pourra enlever par des plans coupants.

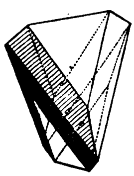
La figure 159, dont l'analogie avec la figure 84 n'échappera certainement pas au lecteur, offre aux yeux, de la manière la plus claire, ce moyen de dérivation et l'octaèdre carré qui en est le résultat. On y voit aussi que le sphénoèdre pourrait être obtenu en partant de l'octaèdre, par le prolongement de quatre de ses faces alternes, celles qui ne sont pas ombrées dans la figure, circonstance qui conduit naturellement à cette conclusion : que le premier solide est bien l'hémièdre de l'autre, et que, dans le sous-système dont il s'agit, l'octaèdre carré doit être considéré comme un *disphénoèdre*, de même que dans le sous-système tétraédrique l'octaèdre régulier n'est réellement qu'une combinaison de deux tétraèdres.


Fig. 159.

Il nous reste à dire un mot d'un solide particulier au sous-système sphénoédrique, sur lequel nous ne devons pas insister, parce qu'il ne se présente pas dans la nature : il est composé de huit triangles scalènes égaux disposés par quatre au-dessus et au-dessous d'une espèce de zigzag à quatre côtés (*fig.* 160), et a reçu le nom de *scalénoèdre tétragonal.*

La modification par laquelle on l'obtient le plus directement est celle qui consiste à placer un biseau sur chacune des arêtes latérales du type, ainsi que nous l'avons représenté dans la figure 161. On y arriverait également par le bisellement oblique de quatre des angles solides du prisme carré ; d'où il résulte qu'on peut le regarder comme l'hémièdre du dioctaèdre symétrique.


Fig. 160.


Fig. 161.

Exemple naturel. — Jusqu'ici on ne connaît qu'une seule espèce minérale qui appartienne à ce sous-système : c'est la chalkopyrite (cuivre pyriteux, Haüy).

On trouve la chalkopyrite sous forme du sphénoèdre simple ou

modifié sur les angles ou sous celle d'un octaèdre quelquefois tronqué aux sommets, et, de plus, modifié, dans certains cas, sur ses arêtes culminantes, à l'exclusion des arêtes basiques.

Les cristaux sphénoédriques de cette espèce avaient été rapportés au tétraèdre régulier, et les cristaux octaédriques à l'octaèdre régulier, dont l'angle ne diffère que de 1°, avant que M. Phillips eût appelé l'attention sur leurs modifications dissymétriques.

IV. SYSTÈME ORTHO-RHOMBIQUE.

Système prismatique droit à base rectangle : Beudant, Dufrénoy.

La dénomination d'*ortho-rhombique*, appliquée à ce système par M. Delafosse, présente à la fois l'idée des prismes et des octaèdres droits, soit rectangulaires soit rhombiques, qui sont les formes caractéristiques de cette série.

Les trois axes cristallins se rencontrent encore ici perpendiculairement, comme dans le premier et le troisième systèmes, mais ils sont inégaux, tandis que dans le système tétragonal les deux axes secondaires avaient la même longueur.

La progression symétrique a pour raison 2 au lieu de 4, chiffre qui caractérise tout particulièrement ce dernier système.

Voici le résumé de tous ces traits caractéristiques.

Trois axes rectangulaires inégaux.
Progression : $\div$ 2. 4. 6. 8...
Forme fondamentale : **le prisme ortho-rhombique.**
Molécules intégrantes... même forme.

Forme type. — La symétrie du solide fondamental (*fig.* 162) est facile à saisir. On peut la formuler de la manière suivante :

6 faces.	2 bases rhombes P. 4 faces latérales rectangulaires M.
12 arêtes.. . . .	8 arêtes basiques. 2 — latérales aiguës H. 2 — — obtuses G.
8 angles solides.	4 aigus A. 4 obtus E.

Il est naturel de prendre ici pour axe principal celui qui joindrait les centres des deux bases rhombes. Les axes secondaires s'obtiendraient en traçant des droites entre les milieux des arêtes opposées (*fig.* 163). Il est facile de voir qu'ils sont parallèles et égaux aux diagonales des bases du prisme.

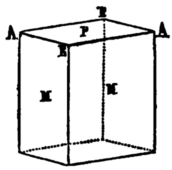


Fig. 162.

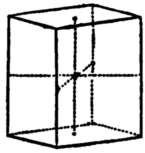


Fig. 163.

Autour de l'axe vertical les quatre faces, ainsi que les arêtes basiques, jouent évidemment le même rôle; mais les angles solides A, E sont disposés par deux relativement à cet axe. Il en est de même des arêtes latérales, bien que leur longueur soit la même; car elles constituent le faîte d'un angle dièdre, qui est aigu pour les unes H et obtus pour les deux autres G. Le nombre 2 est donc un des caractères essentiels de la symétrie de cette série de formes.

Troncature — *sur les arêtes.* Toutes les arêtes basiques étant égales et se trouvant à la rencontre des mêmes faces, doivent être modifiées ensemble et de la même manière. La troncature des arêtes supérieures (*fig.* 164) donnerait quatre facettes *b* qui, prolongées, se rencontreraient au-dessus de la base située de ce côté, en un point de l'axe, et constitueraient un pointement pyramidal sur le prisme. Une pyramide semblable, mais renversée, résulterait du prolongement des troncatures de la base inférieure, et l'on peut concevoir très-facilement que les faces de ces deux pyramides, étant étendues jusqu'à se rencontrer, se couperaient deux à deux sur le plan horizontal passant par le milieu de l'axe, suivant quatre droites qui formeraient un rhombe semblable à la base du prisme. L'effet définitif de cette modification serait donc un octaèdre droit à base rhombe ou ortho-rhombique.

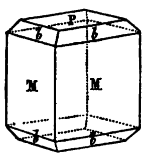


Fig. 164.

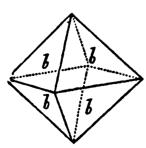


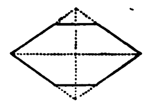
Fig. 165.

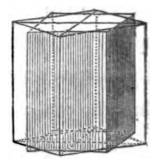
L'inclinaison des facettes de modification peut, à la rigueur, être choisie arbitrairement. Il y a donc théoriquement une multitude d'octaèdres de formes différentes qui peuvent naître de cette modification. Si l'on suppose que tous ces octaèdres soient ramenés à une base commune, celle même du prisme, les hauteurs de ceux

qui se trouvent réalisés dans la nature seront entre elles comme 1 est à 2, 3, 4. Celui que représente la figure 165 a pour axe 1, c'est-à-dire que c'est le conjugué du prisme que nous avons pris pour type.

Les arêtes latérales du prisme étant de deux espèces peuvent être tronquées séparément, et chacune de ces deux opérations produirait deux facettes verticales parallèles à un plan diagonal du prisme primitif.

La figure 166 représente, en projection horizontale, cette modification pour les arêtes obtuses et le prisme hexagonal symétrique qui résulterait de la combinaison de ces nouvelles faces avec celles du type. Cette même modification exécutée en même temps sur les arêtes obtuses et aiguës donnerait évidemment naissance à quatre plans perpendiculaires entre eux qui, prolongés jusqu'à leur rencontre mutuelle, formeraient un *prisme droit à base rectangulaire*. La figure 167 montre, en perspective, cette transformation du prisme rhombique en prisme rectangulaire. On peut en voir la projection horizontale dans la figure 171. La combinaison des troncatures, en supposant qu'on ne les ait pas prolongées, produirait, avec les résidus des faces du prisme rhombique, un prisme octogonal symétrique.


Fig. 166.


Fig. 167.

— *Sur les angles*. Les angles obtus supérieurs E ayant été tronqués par deux plans qui devraient être nécessairement parallèles à la grande diagonale de la base, il en résulterait un biseau *e* posé sur cette base. Le même résultat aurait lieu du côté de la base inférieure. On aurait donc, en définitive, un prisme terminé de part et d'autre par un toit parallèle et égal à la grande diagonale.

La figure 168 représente le cas où les faces *e* du toit se couperaient suivant la diagonale elle-même. En se rapprochant de plus en plus, par l'effet de la troncature continuée au delà de cette limite, ces deux toits finiraient par se rencontrer et se pénétrer, de manière à ne laisser aux faces M du prisme qu'un rôle secondaire. On aurait alors un prisme ortho-rhombique couché horizontalement, terminé par des biseaux dont les plans *M* auraient une position verticale (*fig.* 169).

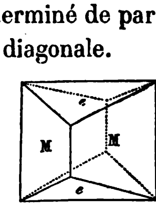


Fig. 168.

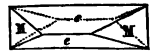


Fig. 169.

La troncature des angles aigus produirait aussi un biseau ou toit sur chacune des bases; mais ici la ligne de faîte de chacun de ces toits ou biseaux serait parallèle et égale à la petite diagonale. Cette modification pourrait donner lieu, comme la précédente, à un prisme couché, mais dans une position perpendiculaire à la précédente.

La combinaison de ces deux ordres de troncature donnerait, sur chaque base du type, quatre faces *a* et *e* qui se rencontreraient de manière à produire une pyramide cunéiforme ou une pyramide proprement dite, suivant les inclinaisons respectives des troncatures des angles aigus et obtus. Le prisme se trouverait alors pyramidé d'une manière alterne (*fig.* 170). Il est facile de voir que ces deux pyramides marchant l'une vers l'autre de manière à se rencontrer sur le plan moyen du prisme fondamental, dessineraient sur ce plan une base rectangulaire, puisque chacune des intersections avec le plan moyen des faces de ces pyramides serait nécessairement parallèle à une des diagonales des bases (ces relations se voient très-bien dans la figure 171). On aurait donc, pour résultat définitif de ces troncatures combinées, un *octaèdre à base rectangulaire* qui semblerait devoir être cunéiforme dans la plupart des cas. Celui que représente la figure 172 est terminé par des sommets; il résulte de la combinaison des pyramides de la figure 170. Cet octaèdre peut, d'ailleurs, avoir une hauteur quelconque, puisque rien ne limite théoriquement l'inclinaison des plans qui produisent ses faces; mais une même espèce minérale ne présente jamais qu'un très-petit nombre de ces octaèdres, dont les hauteurs, pour une même base, sont entre elles dans un rapport très-simple.

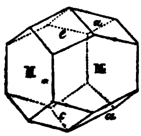


Fig. 170.

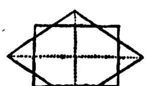


Fig. 171.

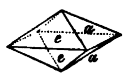


Fig. 172.

Bisellement — *sur les arêtes.* Les arêtes latérales étant les seules qui se trouvent à la rencontre de deux plans égaux, on ne peut biseler que ces arêtes et nullement celles des bases. Sur les arêtes obtuses, par exemple, un biseau n'aurait d'abord d'autre effet que d'ajouter des facettes de chaque côté aux quatre faces du type, et il en résulterait un prisme sy-

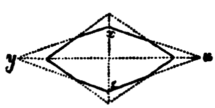
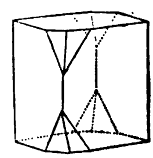


Fig. 173.

métrique à huit faces, représenté en plan dans la figure 173. En prolongeant les quatre facettes des biseaux jusqu'à s'entrecouper, les faces primitives disparaîtraient, et l'on aurait un nouveau prisme rhombique droit *xyzu* plus aplati que le premier.

Des biseaux posés sur les arêtes aiguës produiraient des résultats analogues, seulement le nouveau prisme ortho-rhombique qui naîtrait du prolongement des facettes de ces biseaux serait moins obtus que le type. Il est facile de voir que la combinaison des faces de ces trois solides donnerait des prismes dodécagonaux symétriques.

— *Sur les angles.* Si les biseaux précédents, au lieu d'être parallèles ou tangents aux arêtes, s'inclinaient sur elles d'une certaine quantité, ils devraient nécessairement se décomposer, chacun, en deux biseaux obliques qui se porteraient sur les angles. Le bisellement des angles obtus supérieurs, par exemple, donnerait quatre facettes ascendantes (*fig.* 174) qui, prolongées, formeraient une pyramide au-dessus du prisme. Celui des angles inférieurs qui doit marcher avec le précédent, donnerait naissance à une pyramide inférieure dont la combinaison avec la première produirait un octaèdre ortho-rhombique ayant des angles différents de celui que nous avons obtenu par la troncature des arêtes basiques.


Fig. 174.

Des biseaux placés sur les angles aigus du prisme donneraient lieu également à un octaèdre rhombique droit.

Enfin, la combinaison des biseaux placés à la fois sur les angles obtus et sur les angles aigus produirait, sur chaque base, en donnant toutefois à ces biseaux des inclinaisons concordantes, une pyramide octogonale et, en définitive, un *dioctaèdre symétrique.*

Ces octaèdres et dioctaèdres, de même que les prismes obtenus par la modification précédente, ont entre eux des relations d'axes très-simples conformément à la loi de rationalité.

Récapitulation. — Les modifications possibles en partant du type étant épuisées, résumons les formes simples qui viennent d'être obtenues.

Ces formes sont :

Le prisme ortho-rhombique,	le prisme rectangulaire droit,
l'octaèdre ortho-rhombique,	l'octaèdre rectangulaire droit,

Les deux solides rectangulaires ne peuvent être dérivés que par deux modifications, du même genre, il est vrai, agissant simultanément.

Nous ne devons pas mentionner ici le dioctaèdre symétrique, qui n'est qu'une forme de combinaison accessoire et accidentelle.

Notions sur les formes dérivées. — Donnons quelques notions sur les formes caractéristiques du système et indiquons rapidement les dérivations relatives à ces formes qui conduiraient à toutes les autres.

Octaèdre ortho-rhombique. La position des axes est naturellement déterminée, dans ce solide, par celle des sommets, et chacun d'eux peut jouer le rôle d'axe principal ou vertical; car la base, dans chacune des trois positions, est toujours un rhombe.

Voici, d'ailleurs, le résumé de sa symétrie cristallographique :

8 faces égales *b* (triangles scalènes).

12 arêtes....	4 culminantes plus longues.
	4 — plus courtes.
	4 latérales ou basiques.
6 angles solides.	2 culminants.
	2 latéraux aux extrémités de la grande diagonale de la base.
	2 latéraux aux extrémités de la petite diagonale.

Le prisme ortho-rhombique s'obtiendra facilement, en partant de cet octaèdre, par la troncature des arêtes basiques combinée avec celles des sommets. La troncature simultanée des angles solides des trois sortes conduirait évidemment au prisme rectangulaire droit. Enfin, l'octaèdre droit à base rectangle résulterait de la troncature parallèle ou oblique des arêtes culminantes faite par des plans qui seraient nécessairement, dans l'un et l'autre cas, parallèles aux diagonales de la base.

Prisme rectangulaire droit. Dans ce prisme, les axes joignent les milieux des faces rectangulaires opposées. Il offre :

6 faces rectangulaires.	2 bases.
	2 faces latérales larges.
	2 — — étroites.

12 arêtes rectangulaires.	4 basiques longues. 4 — courtes. 4 latérales.
8 angles solides droits.	

Il jouit d'une propriété analogue à celle de l'octaèdre orthorhombique, en vertu de laquelle il peut être placé indifféremment sur l'une quelconque de sęs faces considérée comme base.

Octaèdre rectangulaire droit. Ce solide a pour base un rectangle qui détermine la position de l'axe principal. Les axes secondaires joignent les milieux des arêtes opposées de cette base rectangulaire. Les autres arêtes, comprises dans une même section diagonale, forment des rhombes obliques.

Ce solide a :

8 faces (triangles isocèles).	4 grandes *e*. 4 petites *a*.
12 arêtes.	8 culminantes. 2 latérales plus longues. 2 — plus courtes.
6 angles solides quadruples	2 culminants. 4 latéraux.

Remarques sur la symétrie du système. — A chaque prisme correspond un octaèdre de même genre. Si l'on compare les prisme et octaèdre rectangulaires aux prisme et octaèdre rhombiques, on trouve des différences de symétrie, mais avec équivalence ou compensation. Ainsi, dans le prisme rhombique, les faces sont égales et les arêtes de la base sont de même longueur, ce qui n'a pas lieu pour le prisme rectangulaire; mais celui-ci a ses angles droits et tous identiques cristallographiquement. L'octaèdre rhombique a trois bases rhomboïdales et les faces égales. L'octaèdre rectangulaire ne jouit pas, il est vrai, de ces avantages ; mais il en a d'autres que ne possède pas le précédent; ainsi, sa base est rectangulaire, ses angles solides latéraux sont égaux, et ses faces, égales deux à deux, sont des triangles isocèles; tandis que celles de l'octaèdre rhombique sont scalènes.

Eu égard au système tétragonal, il y a ici, dans chacune des formes, un degré d'irrégularité de plus. Le prisme rhombique, comparé au prisme carré, a encore les côtés égaux; mais les angles des bases ne sont plus droits, et, par suite, il a deux sortes d'arê-

tes latérales. Dans le prisme rectangulaire, les arêtes latérales et les angles sont identiques comme dans le prisme carré; mais les arêtes basiques et les faces latérales sont de deux sortes. Une décroissance du même ordre sépare les octaèdres ortho-rhombique et rectangulaire droit de l'octaèdre à base carrée. Ces différences, au reste, ne sont qu'une conséquence de celle, plus fondamentale, relative aux axes cristallins.

Exemples naturels. — Un grand nombre de minéraux importants se rapportent à ce système.

Pour les formes prismatiques à base rhomboïdale, nous citerons particulièrement la célestine, la barytine et la topaze.

Les cristaux de célestine qui nous viennent de Sicile, si remarquables par leur netteté et par leur volume, ont pour forme dominante un prisme rhomboïdal souvent tronqué sur les arêtes aiguës, dont la position normale devrait être horizontale, terminé par des biseaux (faces primitives) qui résultent de la troncature des angles obtus parallèlement à la grande diagonale de la base. Les angles aigus sont fréquemment remplacés aussi pas de légères troncatures.

La barytine se présente souvent sous forme de prismes droits rhomboïdaux simples ou modifiés sur deux ou quatre arêtes latérales avec ou sans facettes octaédriques sur les arêtes ou aux sommets. Ces prismes droits sont presque toujours plats ou tabulaires. Il existe aussi, parmi les cristaux si nombreux de ce minéral, des prismes rhomboïdaux allongés dans le sens horizontal, biselés ou épointés aux extrémités. Ceux-ci ressemblent beaucoup aux cristaux de célestine. La figure 175 représente un de ces cristaux et peut donner, en même temps, une idée des formes habituelles de ce dernier minéral. Les faces du prisme primitif y sont réduites à l'état de facettes M par les grand développement des plans *e*, qui ne sont autre chose que les troncatures prolongées des angles obtus du type. La position des facettes *a* indique assez qu'elles résultent de la troncature des angles aigus A du prisme primitif.

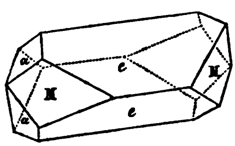


Fig. 175.

Les formes de la topaze varient suivant les localités d'où elles proviennent. La variété du Brésil se présente toujours en prismes

rhomboïdaux, biselés ordinairement sur les arêtes aiguës, mais de manière à laisser dominer les faces primitives. Ces prismes sont terminés par des demi-octaèdres rhomboïdaux naissant sur les bases. Les arêtes de ces octaèdres sont quelquefois aussi modifiées, mais légèrement. La topaze de Saxe est ordinairement courte et basée à ses extrémités ; mais le prisme y porte des troncatures ou des biseaux sur les arêtes latérales, et la base est presque toujours bordée par plusieurs facettes octaédriques. La topaze de Sibérie offre constamment sur la base un toit ou biseau avec des facettes aux extrémités de la ligne de faîte.

Tandis que le prisme rhomboïdal est la forme la plus fréquente dans le système que nous étudions, le prisme rectangulaire est, au contraire, rare. Il domine toutefois dans les formes du péridot (chrysolite), malgré des troncatures qui affectent les arêtes latérales et des facettes nombreuses que portent la plupart des cristaux sur la périphérie des bases.

L'octaèdre ortho-rhombique se montre assez fréquemment, surtout dans les morceaux cristallisés de soufre que l'on trouve en Sicile dans les mêmes gîtes que la célestine déjà signalée. Ces cristaux offrent des octaèdres simples ordinairement cunéiformes, ou des octaèdres doubles entés l'un sur l'autre et terminés, soit par une pyramide, soit par une base. Beaucoup de ces octaèdres portent aussi des troncatures sur les arêtes basiques, qui conduiraient à un prisme rhomboïdal droit.

L'octaèdre rectangulaire est plus rare; cependant on en trouve quelquefois parmi les cristaux de la barytine, et certaines tables à base rectangle portant un biseau sur ses quatre côtés, variété que l'on trouve fréquemment en Auvergne, peuvent être considérées comme des octaèdres rectangulaires profondément tronqués ou basés aux sommets.

Variétés hémiédriques. M. Gustave Rose a fait connaître, dans ce système, deux sortes d'hémiédrie qui peuvent donner lieu à des variétés cristallographiques.

Dans la première variété, certaines facettes qui, d'après la loi de symétrie géométrique, devraient être géminées et constituer les éléments d'un octaèdre rhomboïdal, se trouvent simples et formeraient, par leur prolongement, un tétraèdre (scalène) analogue au sphénoèdre, qu'on a proposé d'appeler *sphénoïde*. Il paraît que l'on rencontre des faces de cette nature dans plusieurs sulfates artifi-

ciels (sulfates de magnésie, de zinc et de nickel); mais, jusqu'à présent, les seuls cristaux naturels qui les aient offertes appartiennent à l'oxyde de manganèse appelé *acerdèse* en minéralogie. Ces cristaux sont des prismes rhomboïdaux biselés sur leurs arêtes latérales et terminés par des pyramides à quatre faces (octaèdre rectangulaire) qui portent, à la base des arêtes partant des angles obtus du prisme, un groupe de quatre petites facettes surmontées d'une cinquième. Celle-ci, au lieu d'être à cheval sur l'arête de manière à s'incliner également sur les faces adjacentes, penche d'un côté seulement, et c'est elle qui, jointe aux trois autres facettes semblables du cristal, constituerait le sphénoïde.

Ce solide se déduirait du prisme droit rectangulaire absolument comme nous avons déduit le sphénoèdre du prisme carré. Il a quatre faces triangulaires scalènes égales; les six arêtes sont donc de trois espèces différentes; les quatre angles sont égaux, et chacun se compose des trois angles plans inégaux des faces triangulaires.

La seconde variété hémiédrique est offerte par la topaze. Lorsque celle-ci se présente avec les deux sommets, ce qui arrive assez fréquemment pour les topazes du Brésil, les modifications des angles aigus du prisme ne s'offrent jamais que d'un côté, tout le reste suit parfaitement les lois ordinaires. La même dissymétrie existe encore dans la calamine. Cette différence entre les extrémités de l'axe cristallin est en rapport avec celle qu'offrent les mêmes extrémités lorsqu'on y fait naître l'électricité par l'action de la chaleur.

V. SYSTÈME UNOBLIQUE.

Système prismatique oblique à base rectangle : Beudant.
Prisme oblique rhomboïdal : Dufrénoy.

Le nom de *unoblique* (tiré du latin) que nous donnons à ce système, est calqué sur celui de *mono-clinoédrique* (tiré du grec), de Naumann, qui signifie la même chose, c'est-à-dire une obliquité en un seul sens, mais qui est trop barbare pour que nous ayons pu l'adopter.

Voici la caractéristique de ce système :

Trois axes inégaux, dont deux obliques, le troisième étant perpendiculaire aux deux premiers.

Progression : ÷ 2. 4. 6. 8. 10...
Forme fondamentale : **le prisme rhomboïdal unoblique.**
Molécules intégrantes.......... même forme.

Dans ce système, les axes sont encore inégaux comme dans le précédent ; mais ils ne sont plus tous perpendiculaires entre eux. L'un d'eux rencontre les deux autres à angles droits ; ceux-ci sont obliques l'un relativement à l'autre, et c'est dans le plan que ces derniers axes déterminent, plan qui partage le cristal en deux parties symétriques, qu'a lieu l'obliquité de toutes les formes du système.

Il y aurait sans doute des raisons pour considérer l'axe perpendiculaire comme axe principal et pour lui donner conséquemment la position verticale ; mais, dans ce cas, les prismes du système se trouveraient couchés, et, en général, les cristaux de toutes formes prendraient une position qui ne serait pas en harmonie avec celle des minéraux cristallisés appartenant aux autres systèmes. La nature elle-même semble donc nous indiquer un des axes obliques comme devant être placé verticalement. L'axe perpendiculaire se trouvera alors dans une position horizontale. On est convenu de le placer parallèlement à l'observateur. L'inclinaison est alors manifestée par le second axe oblique, lequel monte ou descend directement vers lui.

Forme type. — Dans le prisme (*fig.* 176) que nous considérons ici comme la forme fondamentale, la base P est encore un rhombe comme dans le quatrième système ; mais elle n'est plus perpendiculaire aux arêtes latérales, et l'une des diagonales EI est oblique, tandis que l'autre, AA, reste horizontale.

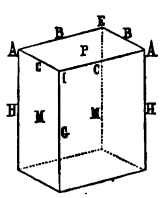
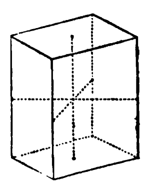


Fig. 176.


Fig. 177.

On prend toujours pour axe principal ou vertical celui qui réunit les centres des bases du prisme (*fig.* 177) ; les autres axes joignent les milieux des arêtes latérales opposées. L'axe horizontal se trouve alors égal et parallèle à la diagonale horizontale du prisme, la plus longue, par exemple, et l'axe oblique à l'autre diagonale.

L'obliquité de cette diagonale est réellement le trait caractéristique de la forme. Un autre trait saillant, propre à spécifier l'obliquité de ce prisme dans un seul sens, est offert par la propriété que possède la *section principale*, passant par l'axe principal et par l'axe oblique, d'être perpendiculaire à la base du prisme. Dans l'état naturel des choses, cette section se trouve dans un plan perpendiculaire à celui du tableau ; la figure 178 la représente rabattue sur ce dernier plan avec les deux axes qu'elle contient.

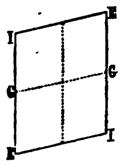


Fig. 178.

Voici les traits caractéristiques de la forme et de la symétrie du prisme unoblique :

6 faces. . . .	2 bases rhombes P	une diagonale horizontale, l'autre oblique.
	4 faces latérales M parallélogrammes.	
12 arêtes. . . .	4 basiques aiguës B.	
	4 — obtuses C.	
	2 latérales aiguës H.	
	2 obtuses. . . . . . G.	
8 angles solides. .	4 A aux extrémités de la diagonale horizontale.	
	2 aigus E	aux extrémités de la diagonale oblique.
	2 obtus I	aux extrémités de la diagonale oblique.

Troncature — *sur les arêtes.* Cette modification peut se faire, d'une part, sur les arêtes latérales et, d'autre part, sur les arêtes basiques.

La troncature des arêtes latérales obtuses donnera deux plans verticaux parallèles à la diagonale horizontale de la base, qui auront la forme de rectangles. La combinaison de ces faces avec le reste des pans du prisme produira un prisme hexagonal symétrique ; nous l'avons représenté en projection horizontale dans la figure 179. Une modification analogue faite sur les arêtes aiguës donnerait des parallélogrammes parallèles à la diagonale oblique et, par conséquent, encore un prisme hexagonal moins aplati que le premier (1). Il est évident que les traces de ces

(1) Il est à remarquer que les faces qui résultent de la troncature des arêtes latérales correspondant aux extrémités de la diagonale horizontale basique, se trouvent être dans la nature, bien que la loi de symétrie ne l'exige pas absolument, parallèles à la section principale et, par conséquent, perpendiculaires aux bases. Ces faces se présentent fréquemment dans les cristaux naturels, notamment dans l'orthose.

troncatures sur la base du type seraient des droites parallèles aux diagonales et conséquemment perpendiculaires entre elles

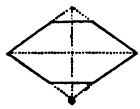


Fig. 179.

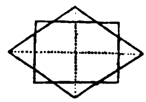


Fig. 180.

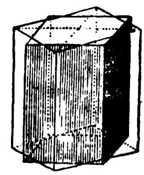


Fig. 181.

(*fig.* 180), et que, par suite, les troncatures simultanées, prolongées jusqu'à leur rencontre mutuelle donneraient naissance à un *prisme à base rectangulaire unoblique* (*fig.* 181), l'obliquité ayant lieu seulement dans le sens de la diagonale inclinée du type.

Les quatre troncatures associées aux faces primitives produiraient un prisme unoblique symétrique à huit pans.

Passons à la troncature des arêtes basiques. Dans le système précédent, ces arêtes étaient identiques et se tronquaient toutes en même temps. Ici il n'en est plus de même ; car il est évident que celles qui se coupent à l'extrémité inférieure de la petite diagonale (oblique) se trouvent à la rencontre de plans formant des angles dièdres obtus, tandis que les arêtes qui se rendent à l'autre extrémité de la même diagonale, à la partie culminante de la base, forment le faîte d'angles dièdres aigus. On peut donc agir sur les premières sans toucher aux secondes et modifier celles-ci en laissant les premières intactes. La figure 182 montre ces troncatures *c* posées sur les arêtes obtuses. L'effet le plus complet qui résulterait de ces facettes prolongées jusqu'à la rencontre des faces latérales opposées serait un biseau oblique placé aux deux extrémités du prisme primitif, ainsi qu'on le voit dans la figure 183.

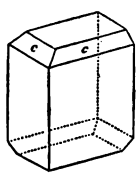


Fig. 182.

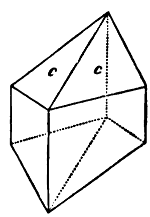


Fig. 183.

Par cette troncature *c* des arêtes obtuses de chaque base combinée avec celle *b* opérée sur les arêtes aiguës, à laquelle on doit supposer, dans ce cas, une inclinaison concordante, on obtient un prisme pyramidé (*fig.* 184), et, si l'on fait marcher l'un vers l'autre les deux sommets pyra-

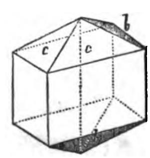


Fig. 184.

midaux jusqu'à l'entière disparition du prisme on arrive à l'*octaèdre rhombique unoblique* relatif au prisme (*fig.* 185), c'est-à-dire celui qui a la même base et la même inclinaison que lui. Rien ne limite d'ailleurs la hauteur de ce solide, puisqu'elle dépend de l'inclinaison arbitraire que l'on a donnée aux plans modifiants. La nature offre, en effet, plusieurs octaèdres différents pour un même minéral ; mais, en supposant à ces diverses espèces d'octaèdres une base commune et également inclinée, leurs axes se trouvent liés par les rapports les plus simples.

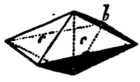


Fig. 185.

— *Sur les angles.* Les angles situés aux extrémités de la diagonale oblique ne sont pas égaux comme dans le système orthorhombique, puisque l'un se compose d'un angle obtus de la base et de deux angles obtus des faces latérales, et que ce sont des angles aigus de ces faces qui se réunissent au second angle obtus basique pour former l'autre. La troncature de celui-ci peut donc se faire sans entraîner celle du premier et réciproquement. Le résultat définitif de cette troncature de l'angle aigu serait de remplacer la base du prisme par une autre base rhombe, mais moins oblique, et qui pourrait être, à la rigueur, perpendiculaire aux faces latérales. Dans ce cas particulier, le prisme se trouverait droit. Ce fait, quoique accidentel, mérite d'être signalé ; car la nature le présente particulièrement dans le pyroxène. Avant d'arriver à cette limite, la troncature dont il s'agit, combinée avec le reste de la base du prisme, formerait un biseau horizontal qui est habituel dans l'orthose. En tronquant le plus possible l'angle obtus situé au bas de la diagonale oblique, on obtiendrait un prisme toujours plus oblique que le premier. Enfin, les deux sortes de troncatures combinées (*fig.* 186) produiraient, sur chaque base, un biseau (*e*, *i*) parallèle à la diagonale horizontale.

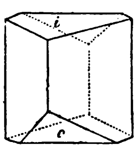


Fig. 186.

Les angles A situés aux extrémités de cette même diagonale sont identiques et doivent être tronqués ensemble. Ces troncatures *a*, prolongées au-dessus de la base, se coupent en une ligne de faîte ou biseau égal et parallèle à la petite diagonale (*fig.* 187). Ce biseau, nécessairement oblique, existe presque toujours dans les cristaux du pyroxène des

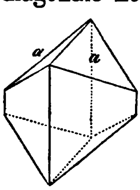


Fig. 187.

volcans (augite). D'autres sortes de pyroxènes peuvent en offrir plusieurs qui rencontrent l'axe à des distances dont les rapports sont très-simples.

Les traces de ces troncatures sur la base se trouvant être parallèles à la petite diagonale, comme celles des troncatures des deux autres angles l'étaient à la diagonale horizontale, il résulte de là que l'ensemble de ces quatre traces, prolongées sur le plan de cette base, produirait un rectangle (*fig.* 180), et que, par conséquent, les quatre troncatures faites, simultanément et d'une manière concordante, suivant les intentions de la nature, donneraient une pyramide pointue ou cunéiforme unoblique à base rectangle qui, combinée avec la pyramide correspondante de la base inférieure, formerait un *octaèdre rectangulaire unoblique*. Il peut exister, pour un même type, plusieurs octaèdres de ce genre qui sont assujétis à la loi de rationalité. La figure 188 représente celui qui est conjugué au prisme fondamental.

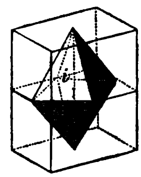


Fig. 188.

Bisellement. — Les arêtes latérales obtuses ou aiguës du prisme sont susceptibles de recevoir un biseau qui aura pour effet d'ajouter, pour chaque catégorie d'arêtes, quatre faces au prisme primitif, ce qui donnera lieu à de nouveaux prismes unobliques (*fig.* 189), soit rhombiques, *xuzy*, lorsque les modifications auront eu leur entier effet, soit octogonaux symétriques, lorsque les biseaux d'une seule sorte se seront combinés avec les faces du type ou avec celles du biseau de l'autre sorte, soit enfin dodécagonaux quand les faces des deux espèces de biseaux se trouveront associées à celles du prisme fondamental.

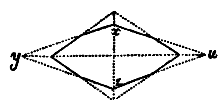
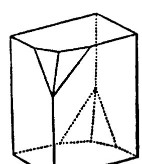


Fig. 189.

Tous ces prismes pourraient, à la rigueur, être redressés par la troncature horizontale de l'angle culminant placé à l'extrémité supérieure de la diagonale oblique.

La dernière modification possible dans le prisme type consiste en un biseau oblique à placer sur l'angle obtus (*fig.* 190) ou sur l'angle aigu, aux extrémités de la diagonale oblique. L'un de ces biseaux peut se faire indépendamment de l'autre


Fig. 190.

et produire, si l'on prolonge ses facettes jusqu'à leur rencontre avec les faces opposées du prisme, un toit oblique. La combinaison de deux biseaux convenablement choisis pourrait faire naître, sur chaque base, une pyramide qui, réunie à celle de la base opposée, formerait un octaèdre unoblique à base rhomboïdale.

Le bisellement n'ajoute donc ici aucun solide simple nouveau remarquable à ceux que nous avaient donnés les troncatures.

Récapitulation; notions sur les solides dérivés. — Les seuls solides simples du système sont donc les suivants :

Prisme rhombique unoblique,	Prisme rectangulaire unoblique,
Octaèdre rhombique unoblique,	Octaèdre rectangulaire unoblique.

Ce sont des formes analogues, comme on le voit, à celles du système ortho-rhombique, dont elles diffèrent uniquement par l'obliquité des bases.

En général, les formes dérivées, différentes du type, exigent deux modifications agissant ensemble pour prendre naissance, ce qui est un caractère d'infériorité au point de vue de la symétrie.

Ici encore, comme dans le système précédent, il y a deux prismes, l'un rhombique et l'autre rectangulaire, auxquels correspondent deux octaèdres de même genre. Il nous reste à donner, sur les trois dernières de ces formes, les notions indispensables et à indiquer les dérivations les plus saillantes qui feraient passer chacune d'elles aux trois autres.

Octaèdre rhombique unoblique. Dans ce solide dérivé, les axes joignent les sommets opposés. Des deux axes non perpendiculaires, l'un est vertical, l'autre n'est autre chose que la diagonale oblique de la base de l'octaèdre; l'axe perpendiculaire, qui reste toujours parallèle à l'observateur, forme une diagonale horizontale dans cette même base. On peut faire prendre à cet octaèdre trois positions différentes en plaçant tour à tour chacun de ses axes verticalement. Dans deux de ces positions, sa base est un rhombe unoblique; mais, dans la troisième, celle où c'est l'axe perpendiculaire qui devient vertical, la base se trouve dans un plan horizontal, et l'octaèdre devient droit; mais il faut bien remarquer qu'alors cette base descend à la forme d'un parallélo-

gramme ordinaire. On perd donc, d'un autre côté, ce qu'on avait gagné d'abord, sous le rapport de la régularité. En considérant ce solide dans la position que nous lui avions d'abord supposée, celle que lui donne naturellement sa dérivation du prisme, ses faces sont des triangles scalènes et égales deux à deux et disposées symétriquement de chaque côté du plan vertical passant par les deux axes non perpendiculaires. Il a :

8 faces triangulaires scalènes.	4 grandes.	
	4 petites.	
12 arêtes.	4 basiques formant un rhombe.	
	4 latérales formant un rhombe dans le plan passant par l'axe horizontal.	
	2 parallélogrammiques longues	dans le plan des axes obliques.
	2 parallélogrammiques courtes	
6 angles solides.	2 culminants.	
	2 basiques latéraux.	
	2 — transverses.	

Cet octaèdre peut se présenter avec tous ses sommets pointus ; mais il est susceptible aussi de s'allonger en deux sens parallèlement aux grandes ou aux petites faces. Alors les sommets qui forment les extrémités de l'axe principal et ceux de l'axe perpendiculaire se trouvent remplacés par des arêtes, et l'on a des octaèdres cunéiformes couchés qui peuvent être considérés comme des prismes rhombiques terminés, de chaque côté, par un biseau unoblique.

Le passage de cet octaèdre au type se fait, d'ailleurs, directement par la troncature simultanée des arêtes basiques et des sommets. Cette dernière est susceptible, à la rigueur, de prendre une inclinaison quelconque dans le sens normal; elle peut même être perpendiculaire aux troncatures qui donnent les faces du prisme ; mais sa position la plus naturelle est parallèle à la base de l'octaèdre.

Cette même troncature, associée à celles des quatre angles solides latéraux et transverses par des plans verticaux parallèles aux deux diagonales basiques, donnerait évidemment le prisme unoblique à base rectangulaire.

Quant à l'octaèdre rectangulaire unoblique, la manière la plus directe de l'obtenir serait de tronquer toutes les arêtes culminantes du type.

Prisme rectangulaire unoblique. Ce solide, placé comme il doit l'être en vertu de sa dérivation, a pour bases des rectangles unobliques et pour faces de droite et de gauche des parallélogrammes droits ou verticaux; les faces antérieure et postérieure sont des rectangles inclinés. Ce prisme pourrait être redressé par la position verticale de l'axe perpendiculaire; mais alors, conformément au principe d'équivalence ou de compensation, ses bases ne seraient plus rectangulaires; ce seraient les faces parallélogrammes qui joueraient ce rôle.

Voici le résumé de la constitution et de la symétrie de ce solide :

6 faces. .	2 rectangulaires basiques unobliques.
	2 — antérieure et postérieure unobliques.
	2 parallélogrammes verticales.
12 arêtes..	4 arêtes latérales rectangulaires.
	4 — basiques rectangulaires.
	2 — — obtuses.
	2 — — aiguës.
8 angles.	4 obtus composés de 2 angles droits et d'un angle obtus.
	4 aigus composés de 2 angles droits et d'un angle aigu.

En partant de ce solide, on reproduirait les autres formes du système, savoir : le prisme rhombique par la troncature des quatre arêtes latérales, l'octaèdre rhombique par celle des angles solides, et l'octaèdre rectangulaire par celle des arêtes basiques; les troncatures de chaque sorte devant être convenablement combinées.

Octaèdre rectangulaire unoblique. Cet octaèdre, dans la position que lui donne la dérivation, a pour base un rectangle incliné dans le sens de l'axe oblique qui joint les milieux de ses arêtes horizontales; l'axe horizontal est déterminé par les milieux des deux arêtes inclinées de cette base; quant à l'axe vertical, il se confond avec la droite qui réunit les sommets. Ce solide a :

8 faces triangulaires.	4 scalènes latérales.
	2 isocèles grandes antérieures.
	2 — petites postérieures.
12 arêtes.	4 culminantes grandes.
	4 — petites.
	2 basiques scalènes.
	2 — isocèles.
6 angles solides. . .	2 culminants.
	4 basiques.

Nous ferons observer ici, comme nous l'avons fait pour l'octaèdre rhombique, que le solide dont il est question peut être prolongé en deux sens, de manière à donner des octaèdres cunéiformes ou des prismes terminés par des biseaux. Suivant que l'allongement se fera par les faces scalènes ou par les faces isocèles, le biseau qui termine le prisme sera formé par des plans inégalement ou également inclinés. Dans ce dernier cas, par une compensation avec laquelle nous sommes déjà familiarisés, ce solide ne serait plus rhombique, mais bien à base parallélogramme.

L'allongement des quatre faces scalènes de l'octaèdre, combiné avec la troncature des arêtes basiques qui doivent former le faîte du biseau, donnerait un prisme rhombique unoblique couché; mais on peut obtenir cette forme dans sa position normale en tronquant les angles basiques de l'octaèdre et aussi les deux angles culminants.

L'octaèdre rhombique s'obtiendrait en faisant des troncatures sur les arêtes culminantes, soit que l'on effectuât cette modification parallèlement à l'arête ou qu'on la portât obliquement aux extrémités des arêtes sur le sommet de l'octaèdre ou à la base.

Enfin, le prisme rectangulaire résulterait tout naturellement de la troncature verticale des arêtes basiques combinée avec celle des sommets.

Exemples naturels. — Des espèces très-importantes se rapportent à ce système. Je citerai particulièrement le feldspath orthose, l'amphibole, le pyroxène et le gypse, qui jouent un si grand rôle dans la constitution des roches.

L'orthose offre de fréquents exemples du prisme rhombique unoblique (angle 120°) tronqué sur ses arêtes latérales aiguës par deux faces *h* perpendiculaires à la base P. La plupart des cristaux de ce minéral (*fig.* 191) portent au moins une troncature *e* sur l'angle culminant de la base qui, combinée avec le résidu de cette base, dont l'inclinaison sur l'axe est de 112°, forme un biseau horizontal. Ce biseau, soit simple, soit associé à diverses facettes, est un des traits caractéristiques des formes qu'offre ordinairement cette espèce.

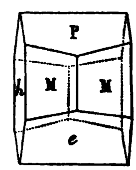


Fig. 191.

Le pyroxène, celui des volcans, auquel doit être exclusivement réservé l'ancien nom d'*augite*, a pour forme primitive un prisme

unoblique de 87° qui porte habituellement un biseau oblique *a* résultant de la troncature des angles aigus situés aux extrémités de la diagonale horizontale de la base. Le prisme est à six ou huit pans par suite de la troncature des arêtes latérales. La figure 192 offre un prisme de cette dernière espèce portant au sommet le biseau habituel. Certains cristaux de la variété nommée baïkalite offrent la curieuse particularité signalée comme possible dans les développements théoriques, qui consiste en ce que la troncature de l'angle culminant de la base se trouve être horizontale, d'où résultent des prismes droits. Lorsque ces prismes portent en même temps, sur les arêtes de la base, des facettes d'un autre genre, ce qui arrive le plus souvent, elles affectent seulement une partie de ces arêtes et dévoilent le système unoblique.

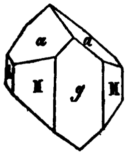


Fig. 192.

L'amphibole est très-analogue au pyroxène par ses cristaux et même par ses autres propriétés ; cependant l'angle de sa forme primitive est beaucoup plus grand, puisque sa valeur s'élève à 124° 1/2. L'espèce blanche, appelée trémolite, se montre en prismes terminés par un biseau unoblique. L'hornblende, plus riche en formes variées, présente, en Bohême et au cap de Gates en Espagne, des prismes primitifs (*fig*. 193) enrichis de deux pans *h* par la troncature des arêtes latérales aiguës, et dont les arêtes aiguës de la base sont aussi remplacées par deux facettes *b*, les deux autres arêtes restant intactes.

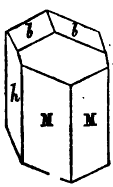


Fig. 193.

Le gypse a pour forme habituelle une table parallélogramme biselée sur tous les côtés par des faces trapéziformes qui avaient fait donner à ces cristaux, par Haüy, le nom de trapéziens. En les plaçant de manière que les bases (faces du clivage facile) soient verticales, ainsi que nous l'avons fait dans la figure 194, ils peuvent être considérés comme des prismes rhomboïdaux unobliques (angle de M sur M = 111° 1/2) tronqués profondément sur les arêtes aiguës (faces *h*), et portant sur chaque base un biseau unoblique *a* par la troncature des deux angles aigus situés aux extrémités de la diagonale horizontale. On pourrait encore les regarder, et ce serait plus simple, comme des octaèdres unobliques à base pa-

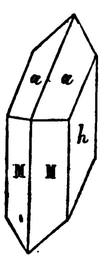


Fig. 194.

rallélogramme tronqués profondément aux extrémités de l'axe perpendiculaire; mais, dans la position que nous avons donnée à la figure, l'axe de cet octaèdre serait horizontal.

VI. SYSTÈME BIOBLIQUE.

Système prismatique oblique à base de parallélogramme obliquangle : Beudant.
Prisme oblique non symétrique : Dufrénoy.

Les formes qui appartiennent à ce système n'offrent d'autre régularité essentielle que le parallélisme des faces et des arêtes opposées et l'égalité des angles aux extrémités d'une même diagonale, conditions indispensables pour qu'elles puissent se rapporter à des parallélipipèdes et à des octaèdres. Toutefois, on retrouve encore ici, dans certains cas, des bases rectangles ou rhombes; mais elles sont toujours biobliques, c'est-à-dire que la ligne de plus grande pente ne s'y confond avec aucun côté ni avec aucune diagonale. On rencontre encore, dans ce système, des cristaux dans lesquels les sections principales sont à angle droit. Les Allemands ont minutieusement distingué ces différents cas accidentels, applicables surtout à des sels cristallisés artificiellement. Nous croyons inutile de les indiquer à part dans le rapide coup d'œil que nous allons jeter sur ce groupe de formes que la nature a du reste fort peu employé.

Voici le résumé de ses traits caractéristiques :

Trois axes inégaux et obliques.
Progression : $\div$ 2. 4. 6. 8...
Forme type : **le prisme bioblique à base parallélogramme.**
Molécules intégrantes... même forme.

Forme type. — Le prisme bioblique (*fig.* 195) que nous prenons pour type n'offre que le degré de régularité strictement nécessaire à un parallélipipède. Les parties identiques n'y sont jamais qu'au nombre de deux et toujours opposées, savoir :

6 faces de trois sortes. { 2 bases parallélogrammes P. / 4 faces — M. et T.
12 arêtes de six sortes . B, C, D, F, G, H.
8 angles solides de quatre sortes : A, E, I, O.

En prenant pour bases deux faces opposées quelconques, l'axe principal sera la droite joignant les centres de ces deux faces. Les axes secondaires seront alors déterminés par les milieux des arêtes latérales. Le premier axe occupant, comme à l'ordinaire, la position verticale, nous supposerons un des axes obliques placé parallèlement au plan de l'observateur (*fig.* 196).

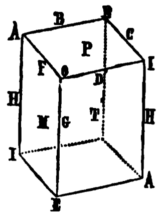
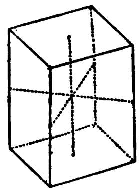


Fig. 195.


Fig. 196.

Dérivations. — Les arêtes se trouvant à la rencontre de plans inégaux, et les angles solides, d'autre part, ne pouvant réunir trois ni même deux angles plans de même valeur, il n'y a pas de bisellement ni de pointement possibles dans ce système. Toutes les modifications se réduisent donc à des troncatures.

La troncature faite séparément sur chaque espèce d'arête parallèle à l'axe principal donnerait des prismes hexagonaux biobliques. Opérée à la fois sur les deux sortes d'arêtes parallèles, elle conduirait à de nouveaux parallélipipèdes en passant par des prismes octogonaux.

Des octaèdres biobliques à base parallélogramme s'obtiendraient par la troncature simultanée des huit arêtes basiques du type.

La troncature des angles solides pourrait donner encore des octaèdres qui se trouveraient, par rapport aux précédents, dans une position alterne.

L'octaèdre de la première sorte a, comme le type, ses faces, arêtes et angles solides de même espèce au nombre de deux seulement et opposés. On pourrait en faire dériver le prisme fondamental en tronquant à la fois toutes les arêtes de la base, et, de plus, les angles culminants.

Exemples naturels. — On dirait que ce n'est qu'à regret que la nature a travaillé sur ce plan cristallographique si peu susceptible de symétrie; car elle ne présente que de rares exemples de cristaux que l'on puisse rapporter au système bioblique, et encore, dans ces exemples même, ne s'écarte-t-elle guère de la forme du prisme fondamental.

Le sulfate de cuivre cristallise artificiellement dans ce sys-

tème, et peut offrir, sous ce rapport, un objet d'étude intéressant pour le cristallographe; mais le minéralogiste n'a pas à s'en occuper.

L'axinite est réellement ici l'espèce minérale par excellence. Elle offre des prismes biobliques très-obtus sur trois arêtes et très-aigus et même tranchants sur les trois autres (de là le nom d'axinite). On trouve ces prismes simples en Oisans (Dauphiné) et au pic d'Eredlitz (Pyrénées); mais il est plus fréquent de les rencontrer avec des modifications sur des arêtes d'une ou de deux sortes et sur un ou deux angles. Les facettes de modifications ne sont jamais assez étendues pour effacer le prisme, qui reste toujours comme forme dominante. La figure 197 montre ce type tronqué sur les deux arêtes D et G, et portant une autre troncature *i* sur l'angle I.

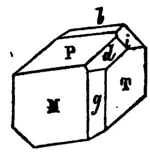


Fig. 197.

Plusieurs espèces de la famille des feldspaths sont rapportées, par la plupart des auteurs, à ce système; mais ces cristaux n'offrent, à cet égard, rien de bien caractéristique. La plupart même ont une analogie marquée avec les cristaux d'orthose qui dépendent du système précédent. Ainsi dans l'albite, qui, après l'orthose, est l'espèce feldspathique la plus importante, la forme primitive ne passe dans le dernier système que par un excès de 3° offert par l'angle de clivage sur 90° qui caractérise l'orthose.

MONSTRUOSITÉS.

Il est assez rare de trouver, dans la nature, des cristaux qui offrent la régularité absolue que nous avons supposée dans nos considérations de cristallographie théorique. Il arrive fréquemment, par exemple, que dans les polyèdres naturels, certaines faces s'élargissent ou s'allongent au dépens des faces voisines, qui alors se trouvent souvent réduites à peu de chose et quelquefois même à rien. D'un autre côté les cristaux ne sont pas toujours simples; on les trouve assez souvent groupés (1) symétriquement par deux

(1) Nous laissons de côté ici, bien entendu, les groupes auxquels aucune loi n'a présidé, ceux principalement dans lesquels on voit, pour ainsi dire, les individus cristallisés sortir d'une masse cristalline commune. Ces groupes sont réellement l'état habituel des cristaux de la nature, ainsi que des cristallisations de nos laboratoires. Il en sera question plus loin.

ou en plus grand nombre de manière à constituer des individus doubles, triples... pour lesquels l'œuvre de la cristallographie se trouve plus ou moins modifiée et qui sont connus en minéralogie sous le nom de *macles*. Il en résulte des *monstruosités minérales* qui doivent être considérées, ainsi que les monstres de la zoologie et de la botanique, non comme des exceptions aux lois naturelles, mais bien comme des applications de ces mêmes lois combinées avec des circonstances particulières et accessoires, comme, par exemple, le resserrement de la matière qui cristallisait dans une veine étroite, le voisinage d'autres cristaux qui pouvaient se former en même temps que les premiers, la pression mutuelle des individus cristallins qui se développaient ensemble dans un petit espace, l'influence du support, celle de l'action de la pesanteur, celle de la nature et de la pureté du dissolvant, etc... Cet état de monstruosité, qui est plus ou moins rare chez les corps organisés, constitue l'état ordinaire des cristaux du règne minéral, en le supposant toutefois modérément ou faiblement prononcé; car il n'arrive pas fréquemment que les formes soient altérées au point d'être méconnaissables. Il est bien satisfaisant de reconnaître, par l'observation, que, malgré ces altérations dans les dimensions géométriques des cristaux, et nonobstant la complexité qui résulte des groupements réguliers qu'ils sont suceptibles de former, la constance des angles, considérée dans l'individu simple, ne varie en aucune manière, et c'est réellement là que réside la véritable fixité des polyèdres naturels.

Les monstruosités minérales se divisent naturellement en deux catégories, savoir : les *monstruosités simples* et les *macles*, dont nous allons nous occuper successivement.

Monstruosités simples.

Les exemples les plus prononcés de monstruosités, qui consistent simplement dans une altération accidentelle des dimensions des cristaux, sont offerts par le système régulier et par le système hexagonal.

Dans le premier système, on trouve fréquemment des cubes allongés dans un sens, qui deviennent alors des parallélipipèdes rectangles (pyrite, galène, fluorine), et des dodécaèdres rhomboïdaux allongés ou raccourcis suivant la direction oblique d'une de

leurs arêtes culminantes et qui offrent l'aspect de prismes à six pans inclinés terminés par des pyramides à trois faces (grenat). Dans la figure 198, qui représente un cas d'allongement, les sommets *s* et *s'* du dodécaèdre normal se trouvent, l'un à droite, l'autre à gauche de l'axe vertical passant par le centre.

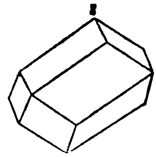


Fig. 198.

L'octaèdre offre des cas plus variés et des altérations plus profondes. La plus simple et la plus habituelle de ces altérations est la disposition cunéiforme, qui a lieu par la substitution de deux lignes culminantes *s s*, *s' s'* aux sommets (*fig.* 199).

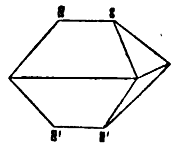


Fig. 199.

Les monstruosités du même type que nous allons citer sont plus embarrassantes. Ainsi, l'octaèdre du rubis spinelle prend, par le développement excessif de quatre de ses faces alternes, la forme d'un tétraèdre tronqué à ses angles solides, comme dans la figure 86, page 106. Lorsqu'il n'y a que deux faces opposées qui s'élargissent beaucoup, il se transforme en une table hexagonale tailladée dans laquelle il est réellement difficile, au premier aspect, de voir un octaèdre. La figure 200 représente le résultat de l'élargissement de la face de droite supérieure et de la face opposée dans l'octaèdre normal (*fig.* 65). Nous y avons distingué par des ombres les autres faces visibles qui se trouvent réduites à de petits trapèzes. Les sommets sont ici remplacés par des lignes de faîte. Le même type eût encore été plus défiguré s'il se fût trouvé déjà modifié par des facettes secondaires.

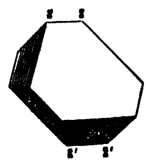


Fig. 200.

Si nous considérons maintenant les cristaux du système hexagonal, nous verrons que c'est dans le sous-système rhomboédrique qu'ils offrent le plus grand nombre de cas monstrueux. L'espèce calcaire est particulièrement remarquable sous ce rapport. Ainsi, les prismes hexagonaux ont souvent leurs faces latérales très-inégales; on rencontre même parmi eux des individus dont trois pans alternes sont tellement réduits, que le cristal paraît avoir une base triangulaire.

Des monstruosités plus prononcées encore se montrent dans les scalénoèdres et leurs dérivés. On voit d'abord ce solide s'élargir par deux faces opposées sur chaque pyramide et devenir cunéiforme (*fig.* 201); les autres faces se trouvent alors plus ou moins

rétrécies, et il est des cristaux même où deux faces disparaissent. Dans ce dernier cas, on n'a plus qu'un double coin à arêtes tranchantes (*fig.* 202). Lorsque ces irrégularités se présentent dans des cristaux composés, elles altèrent tellement la forme normale, qu'on a la plus grande peine à la reconnaître. Il serait difficile, par exemple, de deviner, à première vue, que la forme (*fig.* 203) n'est qu'une monstruosité de la variété analogique du calcaire dans laquelle deux faces du scalénoèdre manquent et sont remplacées par un pan exagéré du prisme hexagonal, le rhomboèdre du sommet se trouvant déformé par suite de l'élargissement de deux faces.

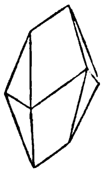


Fig. 201.

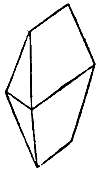


Fig. 202.

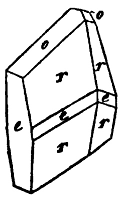


Fig. 203.

Presque tous les cristaux de quartz hyalin pur (cristal de roche) offrent une inégalité plus ou moins grande dans le développement des faces de leurs prismes et surtout de leurs pyramides. Dans certains individus, deux de ces faces opposées se trouvent tellement élargies que les autres se réduisent à peu de chose ou à rien, et alors le prisme paraît terminé par un biseau (*fig.* 204); assez souvent même cinq faces se trouvent ainsi presque effacées par la sixième, qui semble une base inclinée du prisme (*fig.* 205). Il arrive encore, mais rarement, que trois faces de la pyramide supérieure et les trois faces opposées de la pyramide inférieure se développent au dépens des six faces restantes et des pans du prisme, de manière à occuper presque toute la surface du cristal, qui offre alors la forme d'un rhomboèdre (rhomboèdre fondamental) portant deux facettes superposées à chacun de ses angles solides latéraux. Mais toutes ces altérations, si ce n'est la dernière, ne dissimulent que faiblement la forme habituelle de cette espèce si on les compare à la monstruosité (*fig.* 206), appelée par Haüy *sphalloïde* (σφάλλω, *j'induis en erreur*) qui est produite par le prolongement extraordinaire de deux faces de la pyramide supérieure, des deux

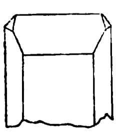


Fig. 204.

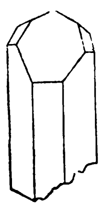


Fig. 205.

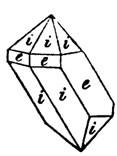


Fig. 206.

faces correspondantes et réellement opposées de la pyramide inférieure, et de deux pans opposés du prisme ; d'où il résulte une forme singulière qui offre l'apparence de deux moitiés d'un cristal ordinaire qui, d'abord séparées et portées de part et d'autre de l'axe, auraient été réunies ensuite d'une manière oblique par un nouveau prisme hexagonal. Dans la figure 206, les faces pyramidales sont représentées par *i* et les faces du prisme par *e*, et il est facile de distinguer celles qui ont subi l'allongement.

Nous ne pouvons entrer dans autant de détails pour faire connaître les monstruosités relatives aux autres systèmes cristallins ; elles sont, en général, beaucoup moins compliquées et se réduisent, dans la plupart des cas, à des allongements et à des raccourcissements d'octaèdres ou de prismes.

Ces dernières monstruosités considérées d'une manière générale dans tous les systèmes prismatiques, sont quelquefois poussées très-loin, mais elles ne doivent pas cependant effacer les traits fondamentaux de la forme cristalline, sous peine de passer aux oblitérations. On pourrait en former une catégorie spéciale dans laquelle on placerait des prismes qui, par un allongement excessif combiné avec une grande atténuation de leur largeur, sont passés à l'état d'aiguilles et même de fibres, sans rien perdre toutefois de la régularité de leurs faces et des angles qu'elles forment entre elles (amphibole, épidote harkise). D'un autre côté, il faudrait y comprendre aussi des cristaux prismatiques raccourcis au point de se trouver réduits à des tables (1) (barytine, oligiste), ou même à des lames ou lamelles à contours réguliers (kouphollite, mica, mélinose).

Monstruosités multiples ou macles.

Une macle peut être regardée comme étant le résultat de l'accolement régulier, ordinairement avec pénétration et inversion, de plusieurs cristaux. Dans une macle, les cristaux constitutifs ou élémentaires sont identiques et très-peu nombreux ; il n'y en a que deux le plus souvent ; ils ont un volume comparable à celui

---

(1) Ce nom de *table* s'applique généralement à tous les cristaux aplatis terminés par deux bases parallèles dont la surface est relativement considérable.

des cristaux ordinaires, et se laissent très-facilement distinguer les uns des autres. L'accolement se fait toujours par des parties analogues et égales, existantes ou pouvant exister sur les cristaux simples en vertu des lois de la cristallographie. Un des caractères les plus sensibles de ce mode de groupement consiste dans les angles rentrants qu'il entraîne presque toujours avec lui, circonstance qui ne peut jamais se présenter dans un cristal simple, et qui est accompagnée d'une inversion ou alternance dans la symétrie. Cette dernière particularité existe quelquefois seule et devient alors un moyen précieux pour la reconnaissance du groupement (1).

Dans les groupes dont il s'agit, qui sont particulièrement comparables aux monstruosités les plus habituelles dans les règnes organiques, les parties identiques des cristaux élémentaires se coordonnent d'une manière symétrique de part et d'autre du plan de jonction ainsi que le fait un objet relativement à son image dans un miroir.

Nous diviserons les macles en trois catégories :

A. *Macles géminées, ou hémitropies;*
B. *Macles croisées ;*
C. *Macles périaxes.*

A. Macles géminées. — Cette division renferme les macles proprement dites, celles qui sont les plus fréquentes, et qui ont, jusqu'à ces derniers temps, presque exclusivement occupé les minéralogistes. Elles résultent de l'accolement, avec pénétration plus ou moins avancée (*gémination*) de deux cristaux seulement, et inversion de l'un d'eux. Cette inversion peut être obtenue, en général, par une demi-révolution de ce dernier cristal, l'autre restant immobile : de là le nom d'*hémitropie* proposé par Haüy.

Il est convenable de subdiviser cette catégorie de macles en trois sections basées sur la position de la surface de jonction relativement à l'axe.

A. *Plan de jonction parallèle à l'axe.* Dans ce cas, l'un des cristaux groupés est renversé ou retourné dans un plan parallèle à l'axe principal, l'autre cristal occupant la position normale. Ce

(1) D'autres caractères de détail peuvent encore venir dans ce cas, au secours du minéralogiste, comme l'interruption des clivages et des stries au plan de jonction, de part et d'autre duquel les uns et les autres prennent des allures et des directions distinctes.

mode de groupement est surtout très-fréquent dans certains cristaux dépendant du système unoblique. Le plan de jonction est alors généralement parallèle à celui des diagonales horizontales appartenant aux bases du prisme. Ces sortes de cristaux géminés offrent presque toujours un angle rentrant à une extrémité. Un exemple théorique pourra nous aider à faire comprendre cet effet du groupement dont il s'agit.

Soient (*fig.* 207) des coupes faites par les diagonales obliques dans deux prismes unobliques égaux. Si nous accolons ces deux parallélogrammes, sans changer, d'ailleurs, leur position relative, par leurs côtés verticaux *a b*, *c d*, nous obtiendrons un parallélogramme d'une largeur double (*fig.* 208), et il ne se passera là rien d'extraordinaire ; mais, si nous opérons la jonction des deux coupes après avoir retourné la seconde (*fig.* 209), le groupe aura une figure bien différente de la précédente, et qui sera surtout remarquable par la différence de ses deux extrémités : l'une offrant un angle rentrant, tandis que l'autre sera saillante. Ce diagramme renferme tout ce qu'il y a d'essentiel dans le caractère des macles dont nous nous occupons, et, si l'on en est bien pénétré, on n'aura pas de peine à comprendre les exemples naturels qui vont suivre.

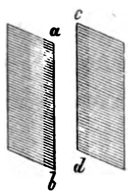


Fig. 207.

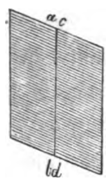
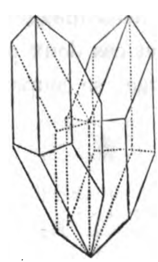


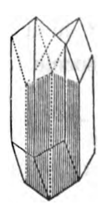
Fig. 208.



Fig. 209.

Le gypse est très-sujet à se macler suivant le mode qui vient d'être indiqué. Le groupement le plus habituel est offert par la variété qui a été nommée *trapézienne* par Haüy et que nous avons représentée page 168, figure 194. Des cristaux de cette forme accolés par leur biseau longitudinal, après le retournement complet de l'un d'eux, donneraient un groupe, comme figure 210, saillant à une extrémité (l'inférieure dans


Fig 210.


Fig. 211

notre figure) et rentrant à l'autre, qui deviendrait semblable à la figure 211, après une pénétration avancée des deux cristaux élémentaires.

La figure 212 indique suffisamment ce qui doit résulter d'un groupement analogue au précédent appliqué à des cristaux d'augite, comme celui décrit et figuré page 168. Ces hémitropies d'augite sont fréquentes dans le voisinage de certains volcans; elles offrent, comme celle du gypse, une partie saillante d'un côté et une partie rentrante de l'autre, composées, chacune, de quatre faces. Dans notre figure, l'angle solide rentrant se trouve en bas.

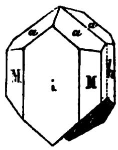


Fig. 212.

La présence d'un angle rentrant n'existe pas dans toutes les macles géminées. Il en est qui n'offrent à leur surface que des parties saillantes; mais alors l'existence de deux cristaux et le retournement de l'un d'eux sont indiqués par une dissymétrie dans les extrémités du groupe.

Comme exemple de ce cas, nous citerons une macle bien connue de l'amphibole hornblende, qui résulte de l'accolement et de la pénétration de deux cristaux semblables à celui de la figure 193, page 168, suivant un plan vertical parallèle à la diagonale horizontale de la base. Le cristal de derrière étant supposé dans sa position normale, le retournement de celui de devant devra amener, en haut du groupe, les facettes *b* primitivement inférieures; de sorte que les quatre facettes de cette sorte se trouveront réunies à la partie supérieure et que, du côté opposé, il ne restera que les deux bases P qui formeront un biseau horizontal lorsque les cristaux se seront suffisamment pénétrés. Si les faces *b* sont étroites et la pénétration des deux cristaux peu avancée, elles resteront accompagnées, dans chaque prisme, d'une portion P de la base, et ces deux portions, qui ont la forme d'un triangle isocèle très-large, se coupant suivant la diagonale horizontale, formeront, entre les deux couples de faces *b*, une gouttière parallèle à cette diagonale (*fig.* 213). Dans le cas où ces faces ayant plus d'étendue, les deux individus cristallins se pénètrent plus profondément, cette gouttière disparaît, et alors les quatre faces *b* se joignent de manière

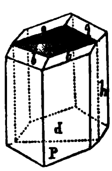


Fig. 213.

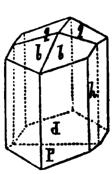


Fig. 214.

à constituer un sommet quadruple. Ce cas est représenté dans la figure 214, qui offre l'image de la macle la plus habituelle de l'hornblende. Ici la gémination ne s'accuse par aucun angle rentrant; mais la dissymétrie des deux extrémités la rend très-manifeste.

L'albite offre un exemple de gémination parallèle à l'axe appliqué au système bioblique, sur lequel nous croyons devoir nous arrêter un instant. Dans la figure 215, qui représente assez clairement cette macle, les deux cristaux, l'un droit l'autre retourné, sont accolés par une face *h* qui n'est autre chose qu'une troncature des arêtes H du prisme primitif, et se pénètrent profondément ; la face *e* résulte d'une autre troncature faite sur l'angle aigu E. Or, dans l'albite, les faces P et *e* étant obliques relativement à la face *h*, le groupement doit entraîner, comme

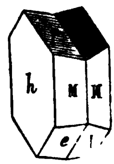


Fig. 215.

conséquence nécessaire, un angle rentrant obtus à la jonction de la base supérieure du cristal de gauche et de la face *e* inférieure de celui de droite amenée en haut par le retournement. Cet angle rentrant est d'une véritable utilité pratique dans les cas où l'on a intérêt à distinguer l'albite de l'orthose. En effet, dans les macles de cette espèce appartenant au dernier minéral, cet angle ne pourrrait exister, puisque les faces suivant lesquelles l'accolement aurait lieu seraient perpendiculaires à la base, et les deux lignes de faîte, inclinées en sens inverse dans le cas de l'albite, se trouveraient sur une même droite horizontale.

Le feldspath orthose est fort sujet à un autre genre de groupement qui doit être rattaché à la catégorie dont nous nous occupons. Il consiste dans l'accolement et la pénétration parallèlement à l'axe et à la face *h*, qui, dans ce cas, est fort large, de deux cristaux semblables à celui de la figure 191 dont l'un aurait fait volte face autour de l'axe, non plus dans un plan vertical, mais horizontalement. Ces cristaux maclés d'orthose, dont la figure 216 peut donner une idée assez exacte, sont habituels

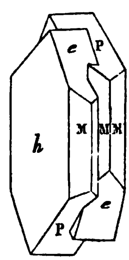


Fig. 216.

dans les granites porphyroïdes. Il est facile de les reconnaître aux deux saillies qu'y forment à leurs extrémités les biseaux (P, *e*) des individus dont la macle est composée.

B. *Plan de jonction perpendiculaire à l'axe.* Dans les macles de cette section, les cristaux s'accolent bout à bout par les extrémités

des axes principaux qui, par conséquent, doivent se prolonger verticalement l'un dans l'autre, et la surface de jonction est horizontale.

Le sous-système rhomboédrique, le calcaire particulièrement, en offre de fréquents exemples. Les cristaux groupés sont des rhomboèdres, des scalénoèdres ou des formes composées dans lesquelles ces polyèdres entrent comme éléments.

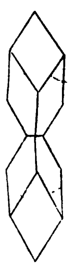
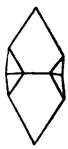



Fig. 217. Fig. 218.

La figure 217 représente deux rhomboèdres égaux placés bout à bout avec inversion de l'un d'eux et commençant à se pénétrer. Si l'on suppose qu'ils marchent alors l'un vers l'autre jusqu'à ce qu'ils arrivent à la juxtaposition de leur section moyenne, on obtiendra le groupe représenté figure 218, où l'on peut remarquer, à la périphérie de la surface de jonction, trois angles rentrants et trois angles saillants alternant avec les premiers (1).

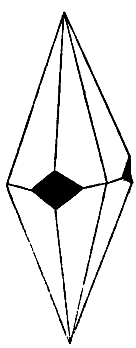


Fig. 219.

La figure 219 montre l'effet d'un groupement analogue à celui qui précède, exécuté avec des scalénoèdres métastatiques. Cette dernière macle se rencontre fréquemment parmi les beaux cristaux de calcaire que renferment les filons plombifères du Derbyshire, en Angleterre.

Si une macle semblable se produisait par l'accolement de prismes hexagonaux simples, il n'y aurait aucune marque extérieure qui pourrait en avertir l'œil, puisque, avant comme après la demi-révolution, les faces du prisme inférieur se trouveraient dans le prolongement des faces de l'autre cristal; mais il n'en serait plus ainsi dans le cas où ces prismes se trouveraient combinés par des scalénoèdres ou des rhomboèdres, comme, par exemple, dans la variété analogique (*fig.* 140); alors la macle serait dévoilée par une inversion de symétrie très-marquée dans les deux cristaux groupés. La figure 220 montre ce groupe-

(1) On pourrait rapprocher de cette macle certains agrégats de calcaire et d'oligiste produits par l'empilement de cristaux déformés laminiformes à contours triangulaires ou hexagonaux, éléments qui doivent être regardés comme des rhomboèdres profondément tronqués dans le sens perpendiculaire à l'axe.

ment effectué avec deux cristaux plus courts que celui qui vient d'être cité. Ici la pénétration s'arrête à la limite au delà de laquelle les faces des scalénoèdres se couperaient, auquel cas on verrait se produire, tout autour du polygone de jonction, trois petits angles rentrants analogues à ceux de la figure 219.

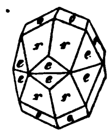


Fig. 220.

Dans le système unoblique, cette sorte de groupement produit un angle rentrant allongé ou une gouttière dans la position horizontale.

c. *Obliquement à l'axe.* Les macles géminées de cette troisième section ont leurs faces de jonction dans des plans obliques à l'axe, mais existant ou au moins possibles dans le système cristallin du minéral. Ces plans de jonction sont presque toujours des faces d'octaèdres ou de rhomboèdres. Ces macles sont les plus fréquentes de toutes ; on en trouve de nombreux exemples dans tous les systèmes cristallins.

Dans le système régulier, ce sont presque toujours les octaèdres qui offrent cette gémination oblique, et particulièrement le rubis spinelle et le diamant. L'accolement se fait par une des faces, comme dans la figure 221, où nous avons conservé à l'un des octaèdres sa position normale, le second étant couché obliquement. La lettre *s* indique les deux sommets supérieurs, le sommet inférieur commun aux deux octaèdres étant désigné par *s'*. Après la pénétration, la forme du groupe devient celle de la figure 222, où nous avons agrandi les octaèdres pour plus de clarté. En faisant le tour du plan de jonction, on remarque une alternance de trois angles rentrants formés par de petits triangles et de trois angles saillants dont les faces ont la forme de trapèzes. Cet accouplement s'aplatit quelquefois et passe à une espèce de table triangulaire par une pénétration plus avancée ; il devient alors assez difficile de le reconnaître. La difficulté augmente encore dans certaines macles (rubis, diamant...) où l'octaèdre élémentaire se trouve compliqué par des troncatures sur les arêtes.

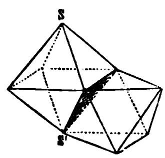


Fig. 221.

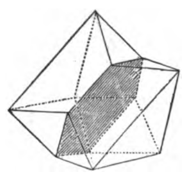


Fig. 222.

Les exemples de cristaux géminés autres que l'octaèdre sont très-rares dans le système régulier ; M. Gustave Rose a cependant

signalé un cuivre natif de l'Oural sous la forme de cubes modifiés groupés par un plan parallèle à l'une des faces de l'octaèdre.

Les octaèdres carrés peuvent aussi se grouper de cette manière; mais, dans ces macles du système tétragonal, l'octaèdre est presque toujours accompagné du prisme carré avec ou sans modifications. Le cas le plus simple est celui où les cristaux élémentaires se joignent directement. Dans la cassitérite, qui offre très-habituellement des cristaux maclés de ce genre, le plan de jonction n'est pas parallèle à une face de l'octaèdre dominant, mais bien à celle d'un octaèdre alterne qui naîtrait d'une troncature faite sur les angles du prisme; d'où il résulte que les angles rentrants ont une direction oblique relativement aux arêtes de la base, ainsi qu'on peut le voir dans la figure 223. En général, ces groupements de cassitérite sont plus compliqués que ne l'indique la figure; il y a aussi des raccourcissements et d'autres accidents qui en rendent l'étude assez difficile. Toutefois, le caractère principal de la macle se laisse toujours distinguer et constitue même une précieuse indication pour les mineurs, qui désignent ces cristaux groupés par le nom de *bec d'étain*.

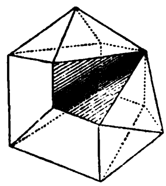


Fig. 223.

Des prismes peuvent aussi s'accoler suivant un plan oblique à l'axe, parallèle à une face de quelque octaèdre existant ou possible, et forment alors des macles qu'on désigne quelquefois par l'épithète de *géniculées*. Le rutile offre fréquemment de ces associations sous un angle constant qui est de 114° (*fig.* 224). La tendance du rutile à se macler ainsi s'étend même aux fines aiguilles de ce minéral, qui se disposent d'une manière complexe et, en quelque sorte, réticulée, dans laquelle on retrouve encore l'angle de 114°.

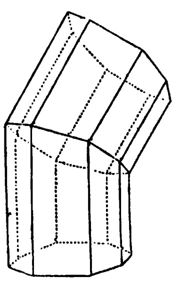


Fig. 224.

On rencontre des macles géniculées dans d'autres espèces, et notamment dans l'acerdèse.

Dans l'espèce calcaire, nous avons à signaler des exemples remarquables de groupements par des faces de rhomboèdres ou de scalénoèdres. Les rhomboèdres simples accolés sont rares. Les groupes de scalénoèdres métastatiques sont plus communs; mais, dans ces groupes, les cristaux se trouvent presque toujours à un

état monstrueux, comme ceux que nous avons représentés dans les figures 201 et 202.

Le groupe géminé du calcaire connu sous le nom de *macle en cœur* a pour base la forme composée que nous avons déjà plusieurs fois citée sous le nom d'analogique. Si l'on prend deux cristaux de cette forme (*fig.* 140) et qu'on les fasse se joindre, puis se pénétrer par une section faite dans le prisme hexagonal parallèlement à une face du rhomboèdre primitif, on aura un solide offrant, d'un côté, une pointe, et de l'autre côté, un angle rentrant. Lorsque le prisme *e* est assez court et que les faces *r* du scalénoèdre sont inégalement développées, ainsi que celles du sommet *o*, comme dans la figure 225, la macle dont il s'agit ressemble, en effet, grossièrement au cœur symétrique adopté par les artistes. On la rencontre quelquefois dans les filons plombifères du Derbyshire.

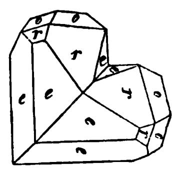


Fig. 225.

Des associations de ce genre existent aussi dans le rutile et dans quelques autres minéraux.

L'orthose et l'albite montrent fréquemment des exemples de gémination obliques à l'axe, circonstance qui prouve que les systèmes unoblique et bioblique ne sont pas étrangers au mode d'association que nous venons d'étudier.

Explication de Haüy. — Il arrive assez souvent que dans le groupement géminé, la pénétration a lieu jusque vers le milieu de l'épaisseur du cristal supposé immobile. Les choses se passent alors comme si l'on avait coupé ce cristal par le plan suivant

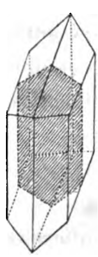


Fig 226.

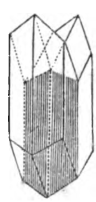


Fig. 227.

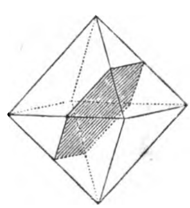


Fig. 228.

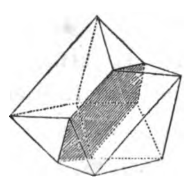


Fig. 229.

lequel se fait l'accolement et qu'on eût ensuite fait faire, dans ce plan, une demi-révolution à l'une des moitiés. Dans le cas du

gypse trapézien, par exemple, on obtiendrait la macle (*fig*. 227) en coupant le cristal (*fig*. 226) par un plan vertical passant par l'axe et perpendiculaire aux faces latérales *h*, et retournant, dans ce plan, la moitié antérieure.

Les figures 228 et 229 montrent l'effet de cette opération sur l'octaèdre régulier. On reproduirait de la même manière tous les autres groupes géminés que nous avons obtenus par la pénétration de deux cristaux inverses l'un de l'autre.

Il est des macles du même genre pour lesquelles on peut encore simplifier ce moyen d'explication: ce sont celles où les parties identiques sont au nombre de *six* tout autour de la face de jonction. Dans ce cas, il suffit de faire opérer à la moitié mobile du cristal, un sixième de tour. Il est facile de voir, par exemple, que la macle (*fig*. 229) de l'octaèdre régulier s'obtiendrait également en faisant tourner la moitié inférieure du cristal, soit d'un demi, soit d'un sixième de la circonférence. Il en serait de même à l'égard des macles du rhomboèdre (*fig*. 218) et du scalénoèdre (*fig*. 219). Haüy donnait à cette manière plus rapide d'arriver aux macles dont il s'agit le nom de *transposition*, réservant le nom d'*hémitropie* pour celles qui exigeaient, comme le gypse et l'augite, un retournement complet.

Cette explication de Haüy est très-ingénieuse, mais nous lui préférons celle qui emploie la pénétration, parce qu'elle satisfait au cas général où les cristaux entrent, pour ainsi dire, l'un dans l'autre jusqu'à un point en deçà ou au delà de leur section moyenne, et qu'elle s'applique, d'ailleurs, ainsi que nous allons le voir, à tous les cristaux maclés, quel que soit leur mode de groupement.

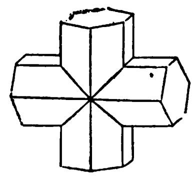
Il est presque inutile de faire remarquer d'ailleurs qu'aucun de ces moyens d'explication ne peut être considéré comme représentant réellement la manière d'opérer suivie par la nature. Celle-ci a évidemment agi pendant la formation du cristal, et la disposition au retournement a dû solliciter les molécules intégrantes elles-mêmes.

B. Macles croisées. — Ces macles résultent du croisement avec pénétration de deux ou de trois cristaux dont les axes se coupent en un point, centre commun des cristaux composants.

Les groupes de ce genre peuvent être divisés en deux sections, savoir : les *croisements cruciformes* et les *croisements sphéroïdes*.

Croisements cruciformes. Ceux-ci sont produits par des prismes qui se traversent en croix.

Le plus remarquable, sans contredit, et le plus simple, est offert par la staurotide ou croisette (*fig.* 230), qui se trouve en abondance dans les schistes siluriens de la Bretagne. Il se compose de deux cristaux, qui sont des prismes ortho-rhombiques tronqués, en général, sur les arêtes aiguës, modification qui les transforme en des prismes hexagonaux un peu aplatis. L'angle formé par les axes est ordinairement droit, comme dans notre figure; mais on trouve aussi des cristaux croisés sous l'angle de 60°. A l'endroit de la jonction les prismes semblent se pénétrer entièrement, et les plans obliques déterminés par leurs arêtes communes, doivent être considérés comme parallèles à des modifications possibles sur les angles aigus des bases.


Fig. 230.

Dans la plupart des groupes rectangulaires, les deux solides simples se prolongent de part et d'autre de leur intersection et forment véritablement une croix ; mais il arrive aussi que les deux éléments ne s'étendent pas au delà de la partie commune, auquel cas leur assemblage offre l'aspect d'un polyèdre presque carré dont les surfaces seraient tailladées de manière à présenter, de chaque côté, huit arêtes rayonnantes formant alternativement une saillie et un sillon. Cette variété, qu'il est bien facile de se représenter en supprimant, par la pensée, les bouts saillants des deux prismes de la figure 230, rappelle certains ornements à facettes (mailles ou macles) des anciennes armures. On présume que c'est à cette ressemblance que l'on doit le nom de *macle*.

Quelques autres espèces minérales offrent des cristaux croisés à angles droits. Les croix offertes par l'augite sont particulièrement remarquables à cause de cette circonstance que les cristaux qui les forment sont eux-mêmes des macles hémitropes comme celle représentée figure 212.

Parmi les minéraux dont les cristaux se croisent sous l'angle de 60°, je citerai la céruse ; mais ici le groupement se compose le plus souvent de trois prismes allongés et prend une forme étoilée.

Croisements sphéroïdes. Ces groupes, qui sont particulièrement propres au système régulier, diffèrent des précédents en ce qu'ils ont des dimensions égales dans tous les sens, de manière qu'ils sont inscriptibles dans une sphère.

Ils consistent le plus souvent en deux cubes, deux octaèdres, deux tétraèdres, simples ou modifiés, mais identiques, croisés de telle manière que les sommets de l'un correspondent au centre des faces de l'autre. Un des exemples les plus curieux de ces groupes croisés, et dont nous avons cherché à donner une idée dans la figure 231, se trouve parmi les cristaux de la limonite épigène de Minden, en Westphalie, où cette macle est connue sous le nom de *Eisenerne-Kreuz* (croix de fer).

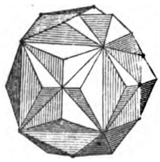


Fig. 231.

Ce sont deux cristaux hexadiédriques qui se pénètrent à angle droit de manière que chaque face du cube supposé inscrit porte une croix de Malte tailladée analogue à celles que présentent les croix écourtées de la staurotide. Cette belle macle existe aussi à Béon, dans les Basses-Pyrénées, où elle offre cette particularité intéressante, indiquée sur notre figure, que chacun des individus croisés porte les stries en trois sens perpendiculaires qui caractérisent le sous-système hexadiédrique.

C. Macles périaxes. — Ces macles sont produites par plusieurs cristaux (toujours plus de deux) qui se groupent en se pénétrant tout autour d'un axe commun souvent parallèle à celui des individus composants. Elles peuvent être *axiales* ou *péritomes.*

Axiales. Les macles de la première catégorie sont allongées dans le sens de l'axe et les angles rentrants caractéristiques s'y trouvent tout aussi bien aux sommets qu'à la périphérie.

L'exemple le plus simple que l'on puisse offrir de ce genre de groupement se trouve dans l'espèce appelée par Haüy harmotome et que Werner avait nommé antérieurement *Kreuz-stein,* parce que ses cristaux groupés peuvent être, en effet, comparés à une croix peu saillante, mais très-allongée dans le sens vertical. La forme primitive de ce minéral est un prisme droit qui a pour base un rectangle très-voisin de la forme carrée. Dans la nature, ce prisme est habituellement pyramidé d'une manière indirecte. Pour se rendre compte de la macle dont il s'agit, il faut imaginer que quatre de ces prismes pyramidés viennent se croiser verticalement à angle droit, en se pénétrant autour d'un axe central. Si les choses se sont passées ainsi, en réalité, il devrait rester, autour de l'axe, en dehors de la partie commune du groupe, quatre saillies laissant

entre elles une gouttière verticale et rectangulaire. D'un autre côté, les extrémités du groupe devraient offrir une pyramide creuse comprise entre les quatre sommets des cristaux individuels. C'est ce que l'on remarque, en effet, dans certains cristaux naturels ; mais il est bien plus habituel de rencontrer des macles d'harmotome dans lesquelles les faces extérieures des pyramides terminales se sont prolongées de manière à former un pointement terminal unique, qui semble recouvrir le tout comme un toit indirect à quatre pans. C'est le cas qui se trouve représenté dans la figure 232.

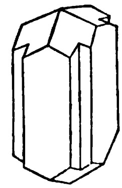


Fig. 232.

Les cristaux de phénakite qui nous viennent de Framont (Vosges) offrent habituellement des macles du même genre (*fig.* 233), dans lesquelles l'axe du groupe est, comme dans l'exemple précédent, parallèle à celui des individus simples qui les composent ; mais ici ces cristaux élémentaires sont des prismes hexagonaux terminés par trois faces rhomboédriques. Le croisement de deux de ces cristaux autour d'un axe commun, qui se confond, dans ce cas, avec les axes individuels, ne produit aucun effet sensible sur les faces du prisme ; mais il se manifeste aux sommets, qui prennent alors la forme d'une pyramide hexagonale dont les faces porteraient, en leur milieu, un pli en forme de gouttière.

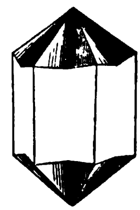


Fig. 233.

Comme exemple de groupes périaxes dans lesquels l'axe de groupement n'est pas parallèle à celui des cristaux composants, je citerai une belle macle de hausmanite figurée sous le nº 19 dans la planche 55 de l'atlas de M. Dufrénoy. Elle se compose de quatre octaèdres à base carrée accolés par des faces inférieures allongées. Les octaèdres groupés laissent entre eux, en haut et en bas, une espèce d'entonnoir à six faces.

Péritomes. Ces macles sont plus ou moins aplaties dans le sens de l'axe et offrent, à la périphérie, des parties rentrantes comme des entailles.

Le type de cette sorte se trouve dans la variété de sperkise à laquelle Haüy a donné le nom de *péritome* (coupé à l'entour) que nous avons étendu à toutes les macles semblables. Elle consiste dans un assortiment circulaire de cristaux qui sont des prismes rhomboïdaux droits de 106°, très-courts et portant une ou

deux faces de biseaux sur leurs angles aigus, cristaux qui se réunissent avec pénétration par des faces verticales. L'angle formé par deux plans de jonction voisins est de 72° lorsqu'il y a cinq cristaux, ce qui arrive habituellement. Il devrait avoir 74° dans le cas où ces plans seraient rigoureusement parallèles aux faces verticales M du prisme. Ces groupes, légèrement bombés au milieu et minces ou même tranchants sur les bords, peuvent offrir plusieurs variétés eu égard à la manière dont ils se comportent au centre. La figure 234 représente la projection d'une de ces macles où les faces *a*, qui forment, au milieu, une pyramide déprimée, et les faces *a′*, plus larges que les précédentes, ne sont autre chose que les plans des deux biseaux; mais il y a aussi des groupes de sperkise dans lesquels le plan *a′* se développe seul jusqu'au centre, qui est alors plein. La figure 234 montre deux particularités fréquentes dans la macle dont il est question et qui sont très-propres à faire distinguer les uns des autres les individus qui la composent. C'est une suite de dentelures que porte le bord extérieur (crête de coq) et des stries parallèles à ce bord sur toutes les faces *a′*. Souvent il manque, dans ces groupes, un cristal dont la place est alors occupée par de la sperkise confusément cristallisée.

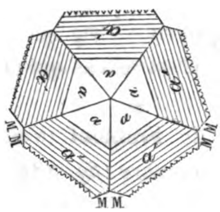


Fig. 234.

La cymophane présente un groupement de ce genre très-remarquable, dont on doit la connaissance à M. Descloiseaux, et qui se trouve magnifiquement figuré (pl. 222) dans l'atlas de M. Dufrénoy. Ses éléments, au nombre de six, sont des octaèdres rhomboïdaux droits légèrement modifiés. La forme générale de cette belle macle est une double pyramide hexagonale basée par un hexagone régulier. Cette base porte des stries divergentes qui suivent six directions correspondantes aux six plans de jonction.

M. Dufrénoy a encore décrit et figuré deux belles macles péritomes de chabasie (pl. 184), dont la plus simple est composée de six rhomboèdres primitifs modifiés, et une autre de Lévyne (même planche) analogue à la première.

Appendice. On donne le nom de *macle* à une sorte d'andalousite qui a, pour ainsi dire, l'habitude de s'incorporer régulièrement une portion de la gangue (schiste argileux noir) au milieu de laquelle

elle s'est formée, et d'offrir ainsi une association régulière qui n'est pas précisément une monstruosité ; mais qui a cependant avec les macles proprement dites une certaine analogie qui nous permet d'en dire ici quelques mots.

Le minéral dont il est question se présente très-souvent en prismesortho-rhombiques, dont la section transversale offre des figures rhomboïdales noires (gangue) sur un fond blanc(andalousite). La disposition la plus simple consiste en un rhombe placé au centre, et souvent il arrive que ce rhombe central se lie aux angles du grand par des lignes de même couleur qui fournissent elles-mêmes des points de départ à d'autres lignes parallèles aux côtés. La figure 235 représente la variété *pentarhombique*, Haüy, où le rhombe du centre se trouve répété sur les quatre angles du prisme avec lesquels il reste lié par les lignes diagonales ci-dessus mentionnées.

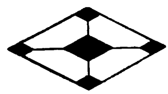


Fig. 235.

Certaines andalousites que l'on trouve à Lancaster (Massachussets) et d'autres qui gisent dans les schistes carburés des Pyrénées (Haute-Garonne) résultent de l'assemblage de quatre cristaux au tour d'un axe central et sont de véritables macles périaxes cruciformes.

Observation.

Nous n'avons pas dû comprendre, dans les généralités relatives aux véritables macles, les groupements pseudo-réguliers qui se manifestent, d'une manière si curieuse, dans les cristaux d'aragonite qu'on trouve au pied des Pyrénées, tant du côté de la France que du côté de l'Espagne, ni d'autres pénétrations plus intimes que l'on est conduit à reconnaître dans des cristaux ordinaires, et qui ne sont indiquées que par des stries plus ou moins profondes ou diversement dirigées, par des inégalités de poli ou d'éclat sur certaines faces, par des différences de propriétés optiques,etc. (quartz, mésotype...). Ces particularités trouveront naturellement leur place à la description des minéraux qui les présentent.

OBLITÉRATIONS.

Il arrive quelquefois que, par l'influence de circonstances encore mal connues et toutefois assez constantes, les parties des cristaux s'arrondissent ou se contournent pendant qu'elles se forment, ou

subissent d'autres déformations, comme des creux, des stries, des cannelures. De là résultent les *oblitérations*, état bien plus imparfait que celui produit par la monstruosité et qui constitue une sorte de transition des formes cristallines à celles qui tiennent à des causes particulières ou accidentelles et dont il sera question plus loin.

Ces imperfections qui tendent à altérer plus ou moins la forme des cristaux, sont assez nombreuses. Nous nous bornerons ici à mentionner les plus fréquentes.

Les cristaux oblitérés *sphéroïdes* appartiennent tout naturellement au groupe régulier dont les nombreuses formes simples ont des axes égaux en plusieurs sens et sont souvent chargées d'un nombre considérable de facettes. La fluorine, le grenat et surtout le diamant, offrent des exemples de ces formes arrondies : ce sont des octaèdres, des dodécaèdres rhombiques, des trapézoèdres et des solides à quarante-huit faces. Pour la dernière des trois espèces minérales citées, les faces arrondies d'origine, habituellement striées, constituent même un caractère habituel et distinctif.

Les formes *ovoïdes* sont ordinairement données par des solides oblongs et renflés vers le milieu, comme, par exemple, le calcaire analogique déjà cité plusieurs fois.

La configuration dite *lenticulaire*, une des plus fréquentes et des plus connues, peut résulter de l'arrondissement, poussé suffisamment loin, de toutes sortes de cristaux raccourcis à contour polygonal régulier ; mais elle provient, dans le plus grand nombre des cas, de rhomboèdres obtus. La sidérose et la diallogite offrent fréquemment des cristaux arrondis de cette manière, lesquels peuvent être considérés comme des rhomboèdres simples ou légèrement modifiés qui auraient subi cette oblitération par l'effet d'une cause qui gênait l'acte de la cristallisation. Dans le gypse, où la forme lenticulaire se montre assez fréquemment, on admet que les lentilles résultent de cristaux trapéziens assez épais arrondis sur leurs bords et principalement sur leurs angles aigus. Ces lentilles, qui sont très-communes dans le terrain gypseux de Montmartre, y ont, pour ainsi dire, l'habitude de s'accoler deux à deux, se pénétrant un peu d'un côté, de manière à former un angle rentrant ou coche du côté opposé. C'est en clivant ces lentilles géminées dans un sens perpendiculaire au plan de jonction que l'on obtient les

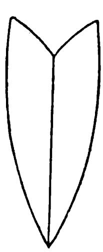


Fig. 236.

figures en *fer de lance* (*fig.* 236) si connues. Un groupement moins commun, mais tout aussi remarquable, se trouve dans les plâtrières d'Aix en Provence : ce sont des rhomboèdres cuboïdes formés par l'accumulation d'un grand nombre de petites lentilles gypseuses, agrégat d'un genre assez analogue à celui des prismes de l'aragonite d'Espagne.

L'arrondissement, sans altérer profondément la forme générale des cristaux, peut se borner à *bomber* les faces (calcaire...).

Nous devons citer encore le *contournement* qui affecte habituellement les rhomboèdres primitifs de la diallogite, de la dolomie et des variétés de calcaire ou de sidérose mélangées connues sous le nom de spath brunissant ou de spath perlé. La même oblitération est encore offerte par les prismes rhomboïdaux de la prehnite, lesquels, lorsqu'ils sont aplatis et réunis par leur partie inférieure, forment des groupes divergents désignés par l'épithète de *flabelliforme.*

Il existe aussi des cristaux à faces creuses, le plus souvent aussi par une influence particulière qui se faisait sentir pendant la cristallisation. Dans ce cas, les cavités laissent voir des lames décroissantes et comme des trémies plus ou moins régulières. Le cristal de roche, par exemple, est assez sujet à ce genre d'oblitération, dont la limite extrême serait offerte par ces portions de cristaux creusés qui, dans la pegmatite graphique, se dessinent sous forme de caractères hébraïques de couleur grisâtre, sur le fond, d'un blanc mat, constitué par l'orthose. Cette oblitération affecte aussi quelquefois les cristaux octaèdres de zigueline à Chessy (Rhône).

Lorsqu'un prisme se trouve modifié sur ses arêtes par un grand nombre de facettes, il arrive assez souvent qu'il présente un contour arrondi comme celui d'un cylindre. Une simple tendance à cette production de nombreuses faces latérales peut produire immédiatement cet effet, qui est presque toujours accompagné de stries ou de cannelures. La pinite et la tourmaline offrent de fréquents exemples de ces cristaux *cylindroïdes.*

Stries. Les stries, dont la présence est souvent très-utile pour dévoiler le sens du clivage et pour guider le minéralogiste dans le choix de la forme primitive, principalement dans les cas d'hémiédrie, ne doivent être considérées ici que comme un effet d'oblitération que l'on peut attribuer à une cristallisation qui aurait été

assez troublée pour laisser à l'extérieur des traces de structure ou d'accroissement. Sous le rapport de la direction, on peut distinguer les stries *longitudinales* qui affectent habituellement les prismes oblitérés qui passent à la forme cylindroïde (tourmaline, épidote...). Il y a aussi des stries *transversales*, très-sensibles par exemple dans le quartz, des stries *obliques* (blende) et enfin des dispositions *croisées* (corindon harmophane). Dans tous les cas ces directions sont parallèles à des arêtes ou à des diagonales existant ou pouvant exister dans le cristal.

THÉORIE DES DÉCROISSEMENTS.

Dans les généralités cristallographiques qui nous ont occupé jusqu'ici, un fait essentiel et fondamental domine : c'est l'existence d'analogies et d'antilogies entre les formes polyédriques offertes par le règne minéral, fait que nous avons systématisé par un moyen de dérivation simple et facile, qui nous a conduit à la connaissance des systèmes cristallins. Nous sommes ainsi parvenu à rattacher les déterminations cristallographiques des minéraux particuliers à un petit nombre de principes généraux. Mais, dans cette partie de nos études, nous n'avons considéré la dérivation et ses conséquences que d'une manière pratique et empirique, sans chercher à nous rendre compte des faits et à remonter à leur cause réelle ou possible. Enfin, nous avons exposé une méthode, mais non une théorie. Le but de ce paragraphe est d'indiquer les principaux traits de celle que Haüy a donnée sous le nom de *Théorie des décroissements*, et qui lui a servi à relever la minéralogie cristallographique au niveau des sciences comportant l'exactitude mathématique.

Origine et idée première de la théorie ; analyse des cristaux. — L'auteur, dans son *Traité de cristallographie* (page 32), nous apprend que c'est la cassure d'un cristal prismatique de calcaire, dépendant d'un beau groupe de la collection de M. Defrance, qui éveilla dans son esprit cette belle conception, et il raconte de la manière suivante comment cette circonstance fortuite le conduisit à d'autres observations du même genre, et finalement à rassembler les faits qui ont servi de base à l'établissement de sa théorie.

« En examinant ce cristal, lorsque je fus de retour, je m'aperçus que la fracture qui s'y était faite, à l'endroit par lequel il tenait au groupe, avait emporté une des arêtes du contour de la base; j'observai, au même endroit, une face P (*fig.* 25, page 62) qu'il était facile de reconnaître, à la netteté de son poli et à la vivacité de son éclat, pour un des joints naturels situés entre les lames dont le prisme était l'assemblage. La figure de cette face, qui était un trapèze, et la direction de sa base, qui était tournée vers l'arête opposée, indiquait que, pour la faire naître à l'aide de la division mécanique, il aurait fallu diriger le plan coupant parallèlement à l'arête nº 1 (*fig.* 24); (1) et, en estimant la position de ce plan d'après celle de la face déjà observée, j'avais jugé qu'il devait être incliné sensiblement de la même quantité, tant sur la base du prisme que sur la face latérale adjacente. Supposant donc la chose faite comme je viens de le dire, j'essayai d'intercepter les autres arêtes par de nouvelles divisions analogues à la première, et je trouvai qu'il n'y en avait que trois, parmi les six du contour de chaque base, qui se prêtassent à cette opération. Ces arêtes étaient, d'une part, 1, 3 et 5 (*fig.* 24), et, d'une autre part, 2, 4 et 6 ; d'où l'on voit que, connaissant une des arêtes susceptibles d'être interceptée par les plans diviseurs, il fallait, pour continuer l'opération, prendre les autres arêtes de deux en deux, autour de la même base, et, de plus, choisir, autour de la base opposée, les trois arêtes qui alternaient avec les précédentes. Il en résultait que les trois trapèzes (*fig.* 25) mis à découvert autour de la base supérieure, et les trois autres qui se montraient autour de la base inférieure, étaient parallèles chacun à chacun. — En continuant la division vers le centre du prisme, je vis paraître de nouveaux joints naturels dont les sections sur les bases se rapprochaient de plus en plus des centres de ces bases; et, au terme où elles se trouvèrent réduites à deux points qui coïncidaient avec les mêmes centres, les triangles dont elles formaient les bords ayant disparu, le prisme fut changé en un dodécaèdre (*fig.* 26, page 63) à faces pentagonales, dont six (P)

---

(1) Nous nous sommes permis dans cette citation de remplacer les désignations détaillées des figures de Haüy par celles, plus rapides et, à la rigueur, suffisantes, qui sont maintenant en usage, et qui se trouvent déjà employées dans les figures des pages 62 et 63 auxquelles nous renvoyons le lecteur.

étaient le résultat de la division mécanique, et les six autres (*e*) les résidus des pans du prisme.

» Au delà de ce terme les pentagones extrêmes conservèrent leur figure et leurs dimensions, tandis que les pentagones latéraux perdaient continuellement de leur hauteur jusqu'à ce que, les extrémités des arêtes latérales venant à se confondre, ces derniers pentagones se réduisirent à de simples triangles, comme on le voit figure 27.

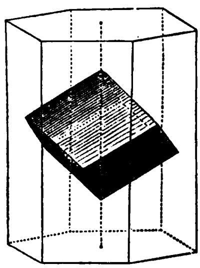


Fig. 237.

» Enfin, de nouvelles divisions ayant fait disparaître, avec ces triangles, les derniers vestiges de la surface du prisme, le solide qui me resta entre les mains, et qui était comme le *noyau* de ce prisme, fut un rhomboïde obtus dont les faces, prises vers un même sommet, étaient inclinées entre elles d'environ 104° 1/2 (1). » — La figure 237 représente ce solide et la manière dont il était engagé dans le prisme avant le clivage, suivant la manière de voir de Haüy.

» L'idée que devait naturellement me suggérer le résultat que je viens d'exposer était qu'il n'offrait qu'un cas particulier d'une propriété commune à toutes les variétés de la même substance, en sorte que les cristaux de chacune d'elles renfermaient un noyau parfaitement semblable à celui qui était engagé dans le prisme sur lequel j'avais opéré. »

Pour vérifier la justesse de cette vue, Haüy chercha à diviser ou, pour nous servir de l'expression spéciale que nous avons adoptée, à cliver ainsi méthodiquement un certain nombre d'autres formes du calcaire pour chacune desquelles il parvint à trouver les parties clivables et le sens dans lequel il fallait faire la division.

Cette opération, exécutée d'abord sur les rhomboèdres secondaires obtus ou aigus auxquels il donna, par la suite, les noms d'*équiaxe*, *inverse*, *contrastant*, *mixte*,... le conduisit, pour chacun

(1) C'est la valeur que Haüy avait obtenue, avec le goniomètre ordinaire, pour l'angle du rhomboèdre, qu'il appelait *rhomboïde*, forme primitive du calcaire. Wollaston a trouvé depuis 105° 5′ en se servant de son goniomètre à réflexion; d'autres minéralogistes sont arrivés à des valeurs un peu différentes, toutes très-voisines de 105°, chiffre que nous adoptons.

d'eux, à un noyau identique à celui qu'avait donné le prisme hexagonal. La figure 238 montre ce résultat pour le rhomboèdre inverse. Les troncatures de clivage se font, dans ce cas, sur les arêtes culminantes par des plans également inclinés de part et d'autre.

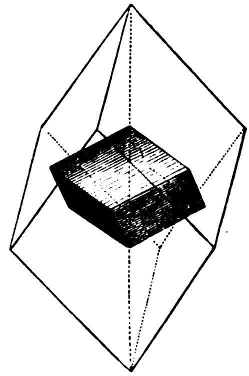


Fig. 238.

Les autres formes qu'il soumit ensuite à ce mode de dissection offrirent encore le même noyau. Les limites dans lesquelles nous devons resserrer cette exposition de la théorie des décroissements ne nous permettent pas d'entrer dans les détails de l'anatomie de tous ces cristaux ; nous nous bornerons à indiquer celle du scalénoèdre métastatique (*fig*. 239), qui peut se faire sans tâtonnement et en une seule opération. Si l'on remarque, en effet, que la base en zigzag de ce solide se trouve composée de six droites qui ne sont autre chose que les arêtes latérales du rhomboèdre primitif, on concevra que si l'on fait passer par ces arêtes, prises deux à deux, six plans coupants alternativement dirigés vers le sommet supérieur et vers le sommet inférieur du cristal, et inclinés à l'axe comme les faces du rhomboèdre, ces plans, dirigés suivant les joints naturels, détacheront, sans difficulté, une croûte extérieure sous laquelle était caché le rhomboèdre primitif.

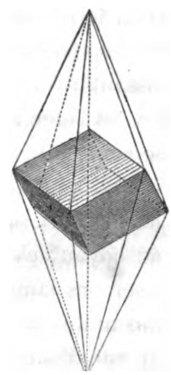


Fig 239.

Ce clivage raisonné et méthodique, appliqué aux autres minéraux cristallisés, prouva la généralité du résultat offert par le calcaire. Entre les mains devenues habiles de Haüy, la plupart donnèrent aussi, avec plus ou moins de facilité, un noyau constant pour la même espèce et variable d'une espèce à une autre. Ainsi, la fluorine cubique, tronquée par le clivage sur tous ses angles, montra un noyau octaédrique ; pour l'amphibole, ce fut un prisme rhombique unoblique ; pour l'apatite, un prisme hexagonal régulier, etc., formes qne la nature offre, d'ailleurs, fréquemment comme résultat immédiat de la cristallisation.

Il ne pouvait échapper d'ailleurs à l'auteur de cette belle découverte, et cette circonstance est un point capital dans sa théorie, que les lames parallèles enlevées successivement dans cette sorte de dissection des cristaux, s'accroissaient, dans certains sens, d'une manière régulière, à mesure que l'opération marchait vers le résultat final.

Synthèse ; décroissements de plusieurs sortes ; leurs directions. — Ayant réussi à faire de cette manière l'analyse des cristaux, la synthèse se présentait tout naturellement à l'esprit. En effet, puisque, en partant d'une forme secondaire quelconque, on pouvait arriver à un noyau constant par l'enlèvement successif, sur toutes les parties similaires, de lames parallèles et régulièrement croissantes, on devait pouvoir reconstruire la forme secondaire en appliquant successivement, sur les parties convenables du noyau, une série de lames parallèles et décroissant avec la même régularité.

Telle est l'idée sur laquelle est fondée toute la théorie des décroissements (1). Pour nous rendre compte maintenant des premiers développements de cette théorie, il faudra nous rappeler que tous les cristaux sont composés de molécules intégrantes semblables au noyau ; c'est là le véritable élément qui doit nous servir à composer nos lames décroissantes et dont les dimensions doivent être nos unités de mesure. Ainsi, les lames auront pour épaisseur celle même d'une de ces molécules, et la quantité du décroissement sera donnée par un nombre constant de rangées moléculaires soustraites, soit en *largeur*, soit en *hauteur*. Il arrive très-souvent que le décroissement peut s'opérer tout simplement par la soustraction d'une seule rangée de molécules, ou que la retraite, se produisant dans un sens par deux ou trois molécules, n'a lieu dans l'autre sens que par une seule. On dit alors que le décroissement est *simple*. Il est *mixte* lorsque les lames de superposition décroissent à la fois, en largeur et en hauteur, par plusieurs rangées.

(1) Le célèbre chimiste Bergmann avait, pour ainsi dire, pressenti cette théorie avant l'abbé Haüy ; il l'avait même appliquée à la dissection du scalénoèdre métastatique ; mais il n'en reconnut pas la portée et n'en tira aucun parti. Cette circonstance, au reste, ne doit diminuer, en aucune manière, le mérite de notre grand cristallographe ; car il avait déjà communiqué ses premiers résultats à l'Académie des sciences de Paris lorsqu'on lui donna connaissance des essais de Bergmann.

Dans tous les cas, les nombres de rangées soustraites dans les deux sens sont toujours très-petits, et le rapport qui existe entre eux est susceptible d'être exprimé d'une manière très-simple. Nous verrons bientôt que ce principe indiqué par l'observation n'est qu'une nouvelle forme de la loi de rationalité des axes.

Quant à la direction du décroissement ou des rangées soustraites, elle pourra être parallèle aux bords des faces du noyau, ou à certaines diagonales, ou à des lignes intermédiaires. De là trois catégories désignées par Haüy de la manière suivante :

1° *Décroissements sur les bords ;*
2° — *sur les angles ;*
3° — *intermédiaires.*

On aura une idée de ces trois sortes de directions en jetant un coup d'œil sur la figure 245, où elles ont été tracées sur un carré que l'on suppose être la base du noyau fondamental. Une ponctuation spéciale, adoptée pour chacune d'elles, suffirait pour les faire distinguer ; mais elles se trouvent encore désignées, dans la figure, par des chiffres placés aux extrémités : la première, celle qui est parallèle aux bords, porte le chiffre 1 ; la seconde, le chiffre 2, et la troisième, le chiffre 3.

Quelques exemples sont ici nécessaires pour rendre sensibles ces généralités.

Décroissement sur les bords. — La galène se présente quelquefois dans la nature sous la forme du dodécaèdre rhombique, duquel il est facile d'extraire le noyau, qui est un cube, par six clivages parallèles deux à deux et perpendiculaires aux axes. Pour faire saisir l'effet de ce clivage, opéré méthodiquement et successivement, supposons que le cristal dont il s'agit se compose d'un nombre restreint

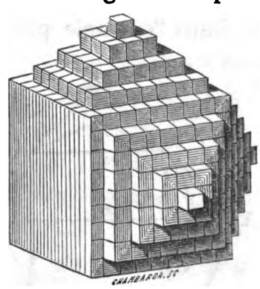


Fig. 240

de molécules ayant un volume très-sensible, comme dans la figure 240, où chacune des faces du noyau, composée de quatre-vingt-un cubes moléculaires, se trouve recouverte par quatre lames ayant l'épaisseur d'une seule molécule. Dans ce cas, il faudra commencer par enlever la molécule cubique qui constitue le som-

met de la pyramide, puis la lame suivante, composée de neuf petits cubes dépassant le cube précédent d'une rangée moléculaire tout autour, ensuite la troisième lame, plus large encore que celle-ci d'une rangée en tout sens et contenant vingt-cinq molécules, et enfin la quatrième, qui en compte quarante-neuf, après quoi on arrivera à la face correspondante du noyau.

Supposons maintenant qu'en partant de ce dernier solide, on veuille reconstruire le dodécaèdre; on devra y réussir en posant d'abord, sur la face primitive, la dernière lame obtenue par le clivage, puis sur cette lame celle détachée dans l'opération précédente, et ainsi de suite, en ayant soin que les centres de ces lames coïncident et que chacune se trouve dépassée par la suivante d'une rangée de cubes élémentaires parallèlement aux bords ou arêtes de la face que l'on considère. En exécutant cette opération sur toutes les autres faces du noyau, il est facile de voir, comme le montre la figure 240, où la grosseur des molécules intégrantes rend très-sensible le mécanisme de la structure, que sur chacune de ces faces se trouvera appliquée une pyramide quadrangulaire dont tous les triangles seront inclinés de 45°, et que, par conséquent, deux de ces triangles, appartenant à deux pyramides voisines et appuyés sur une base commune, se trouveront dans un seul et même plan et formeront un rhombe; d'où il résulte que les vingt-quatre triangles produits par cette construction composeront douze rhombes parfaitement égaux circonscrivant le solide dérivé, qui sera un dodécaèdre rhomboïdal.

Dans l'exemple précédent, le décroissement avait lieu par la soustraction pure et simple d'une rangée de molécules en largeur pour chaque lame. Si l'on avait soustrait à chaque superposition, deux rangées en largeur, les triangles des pyramides auraient pris une inclinaison plus considérable, et leurs plans auraient formé entre eux un certain angle à l'arête de jonction : on aurait donc obtenu un solide secondaire à vingt-quatre faces triangulaires égales mais distinctes, c'est-à-dire l'hexatétraèdre le plus simple et le plus fréquent de la minéralogie. La coupe représen-

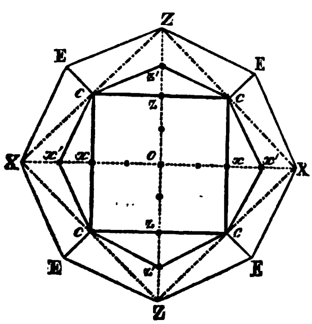


Fig. 241.

tée figure 241 offre les deux cas réunis. Les faces du dodécaèdre y sont réprésentées par les lignes perlées ZX, et celles de l'hexatétraèdre par les lignes pleines $z'c$, cx', etc.

La figure 242 montre clairement, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de nouvelles explications, que le scalénoèdre métastatique du calcaire s'obtiendrait en appliquant sur les faces une série de lames décroissant par deux rangées en largeur. Ce décroissement se ferait parallèlement aux bords destinés à former la base en zigzag du scalénoèdre, et les arêtes culminantes du type n'y participeraient aucunement, circonstance tout à fait conforme, d'ailleurs, à la loi de symétrie.

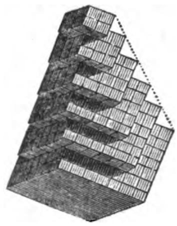


Fig. 242.

En faisant décroître les lames de superposition d'une rangée seulement dans les deux sens, les faces produites au-dessus et au-dessous d'une même arête basique se trouveraient dans un seul et même plan vertical tangent à cette arête, et l'on aurait pour résultat un prisme hexagonal terminé, de chaque côté, par une moitié du rhomboèdre primitif, ainsi qu'on le voit dans la figure 243.

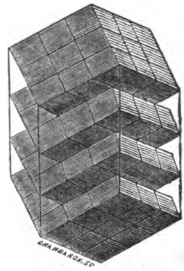


Fig. 243.

Si, après avoir opéré la soustraction d'une rangée de molécules en largeur, on superpose à la lame ainsi réduite une ou plusieurs lames de même surface, ce qui revient à employer, pour chaque opération, des lames ayant l'épaisseur de deux ou d'un plus grand nombre de molécules, il en résultera ce qu'on appelle un décroissement en hauteur par deux, trois, quatre rangées.

La figure 244 offre les deux genres de décroissements combinés de manière à produire un décroissement mixte. Il est facile de voir, en effet, que la ligne An représente une des quatre faces d'une pyramide ou mieux d'un demi-octaèdre à base carrée qui résulterait d'un décroissement par trois rangées en largeur et deux en hauteur, sur la base d'un prisme carré dont la section principale serait ABxy. On remar-

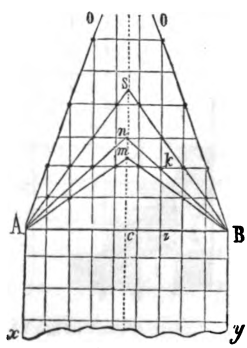


Fig. 244.

quera, dans la même figure, que des octaèdres plus aigus AS, A*o* résulteraient de décroissements simples dont le premier aurait lieu par une rangée dans les deux sens, et le second par deux rangées en hauteur, et qu'un solide de même genre, mais plus surbaissé, A*m*, serait donné par un décroissement simple de deux rangées en largeur.

Décroissement sur les angles. — Parmi les formes secondaires qui appartiennent à un même système cristallin, beaucoup sont susceptibles d'être dérivées de la forme fondamentale, considérée comme noyau, au moyen de décroissements opérés parallèlement aux bords par un nombre plus ou moins considérable de molécules soustraites tant en largeur qu'en hauteur ; mais il en est d'autres aussi pour lesquelles ce mode de décroissement ne peut plus s'appliquer, et qui exigent l'emploi de celui qui s'opère parallèlement aux diagonales en prenant les angles pour points de départ.

Ainsi, par exemple, si l'on essaie d'obtenir un octaèdre par des lames décroissantes parallèlement aux bords supérieurs et inférieurs du cube, en négligeant même les bords latéraux, ce qui serait une infraction grave à la loi de symétrie, la théorie démontre qu'on ne peut arriver qu'à des octaèdres carrés et jamais à l'octaèdre régulier, quel que soit le nombre de rangées que l'on essaie de soustraire, soit en largeur, soit en hauteur ; tandis qu'on obtient très-simplement ce solide en soustrayant, à chaque lame superposée, dans un sens parallèle à une diagonale, une seule rangée de molécules. Dans ce mode de décroissement, les lames doivent être considérées comme composées de files moléculaires parallèles à la diagonale, où les cubes élémentaires se joignent par des arêtes, et qui présentent ainsi des alternatives d'angles saillants et d'angles rentrants s'engrenant les uns dans les autres, ainsi que le représente la figure 245, vers l'angle C.

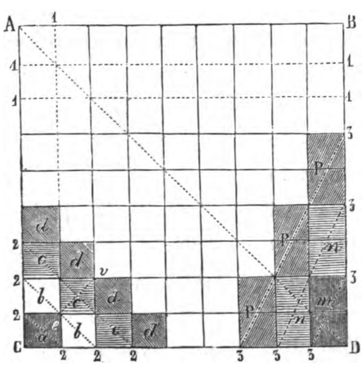


Fig. 245.

Pour effectuer méthodiquement cette dérivation, prenons une lame ayant l'épaisseur d'une molécule et présentant la figure d'un carré égal à celui qui forme la base ABCD du cube, et retranchons d'abord chacune des molécules *a* qui forme les sommets des angles de cette lame ; enlevons ensuite à chacun de ces angles la file moléculaire diagonale suivante, laquelle sera composée de deux molécules *b*, puis la troisième file contenant trois molécules *c* ; ensuite la quatrième, la cinquième, et ainsi de suite jusqu'à ce que nous ayons réduit la lame au seul cube qui forme son centre. Empilons maintenant, sur la base supérieure du cube, par exemple, et dans l'ordre qui vient d'être indiqué, une série de lames composées et figurées comme celles que vient de nous donner la soustraction successive, une à une, des rangées moléculaires diagonales, et nous verrons naître sur chaque angle une face inclinée (*fig.* 246) qui, prolongée latéralement jusqu'à la rencontre des trois autres, formera une pyramide dont les angles seront justement ceux des faces de l'octaèdre régulier, et, pour obtenir ce solide lui-même, il suffira d'élever sur la base opposée un édifice semblable à celui que nous venons de construire.

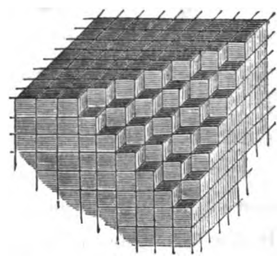


Fig. 246.

Dans le cas qui vient d'être réalisé, où la dérivation se fait au moyen d'éléments d'un volume sensible, chaque face doit offrir, comme l'indique la figure 246, non plus une série d'arêtes parallèles laissant entre elles des cannelures ou des stries, effet que nous avons vu se produire dans les décroissements sur les bords, mais bien un assemblage de pointes qui pourrait se manifester, dans un cristal naturel imparfait, par des rugosités analogues à celles d'une peau de chagrin, ou, du moins, par un défaut de poli.

En n'employant, comme nous venons de le faire, que deux faces opposées du noyau pour obtenir l'octaèdre, nous sommes arrivé à notre but le plus simplement et le plus rapidement possible ; mais ce moyen peut laisser dans l'esprit quelque inquiétude sur la concordance des faces que nous venons d'obtenir avec celles que donneraient, de la même manière, les quatre autres faces du cube. Toutefois, il ne faut qu'un moment de réflexion pour se convaincre que les décroissements opérés sur les angles de ces faces

conduiraient à des plans qui se confondraient avec ceux déjà obtenus.

Si le décroissement se faisait par deux rangées en largeur, cette dernière circonstance n'aurait plus lieu, et l'on obtiendrait, autour de chaque angle solide du cube, trois faces formant entre elles un certain angle, et, par suite, le polyèdre qui résulterait de la combinaison de tous ces plans aurait vingt-quatre faces égales que seraient des quadrilatères symétriques ou trapézoïdes.

Ce solide n'est autre chose que le trapézoèdre régulier qui porte particulièrement le nom de *leucitoèdre*. Il est, du reste, bien facile de se rendre compte de sa génération. Pour y parvenir, imaginons que l'on abaisse du centre de la face triangulaire équilatérale représentée dans la figure 246 des perpendiculaires sur les côtés, il est clair qu'elles diviseront ce triangle en trois trapézoïdes égaux, dont chacun est dû à l'effet partiel du décroissement agissant autour du sommet cubique sur chacune de faces qui s'y rencontrent. Dans le cas de décroissement le plus simple, ces trois résultats concordent, ainsi que nous l'avons déjà dit, de telle manière qu'ils ne forment qu'un seul et même plan triangulaire; mais il n'en est plus de même lorsqu'on fait agir un décroissement par deux rangées. Alors les trois quadrilatères se séparent, sans cesser d'être des trapézoïdes, pour constituer un angle solide obtus correspondant à celui du cube qui a servi de point de départ à la modification.

Le décroissement sur les angles se distingue de celui qui se fait à partir des bords par la direction et par la structure des faces produites. Ces deux décroissements diffèrent encore par les distances horizontales qui mesurent la retraite des lames de superpositions décroissantes. Dans les décroissements qui ont lieu sur les bords, ces distances sont marquées par des largeurs de molécules, tandis que, dans ceux sur les angles, la retraite se fait par des demi-diagonales. La figure 245 rend sensible cette différence dans la marche des deux genres de décroissements. Un simple coup d'œil jeté sur cette projection suffit pour faire voir que les lignes 2.2 parallèles entre elles et à la diagonale AD, sont séparées par les demi-diagonales *ae*, *ec*, *cv*. Or, il est évident que les parallèles que je viens de désigner ne sont autre chose que les projections des bords des rangées de molécules qui font saillie du côté de l'angle C, sur lequel se fait le décroissement, quand on

en a eu retranché une, deux ou trois rangées en largeur. La même figure montre que les bords 1.1 des lames de superposition, après la soustraction d'une ou deux rangées sur le bord AB, s'éloignent de cette droite d'autant de largeurs de molécules qu'il y a eu de rangées soustraites.

Décroissements intermédiaires. — On est moins souvent obligé d'avoir recours, dans l'application de la théorie, à ce mode de décroissement dont la direction est intermédiaire entre celle des bords et celle des diagonales; aussi nous ne nous y arrêterons pas. Nous croyons cependant utile de faire remarquer que l'on peut simplifier beaucoup la considération de ces décroissements en admettant, pour solide élémentaire, un assemblage d'un certain nombre de molécules intégrantes, ce qui doit toujours être possible à cause de la loi de rationalité qui exige un rapport simple entre les deux parties interceptées sur les arêtes du type. Ainsi, par exemple, dans le cas où les lignes 3.3 (*fig.* 245) indiqueraient la direction des bords des lames décroissantes, ces lames étant supposées d'ailleurs n'avoir que l'épaisseur d'une molécule, on les obtiendrait en retranchant d'abord, d'une lame carrée complète, une double molécule *m*, puis les deux doubles molécules *n*, puis les trois doubles molécules suivantes P, etc.; de sorte qu'on se trouverait, en quelque sorte, ramené à un simple décroissement de l'espèce précédente.

En terminant cette rapide exposition des moyens savants et ingénieux employés par Haüy pour expliquer la dérivation des formes secondaires, nous ferons remarquer que ces moyens, pas plus que ceux de Romé de l'Isle, n'ont été employés par la nature, et qu'ils ne doivent être considérés que comme étant destinés à lier tous les faits observés. Il est impossible d'admettre, en effet, que la cristallisation, en produisant les formes variées d'un même minéral, ait commencé par donner naissance à un noyau autour duquel se serait déposée une croûte régulière qui en aurait changé la figure. Le noyau et l'enveloppe se forment ensemble, et il arrive ordinairement qu'un cristal secondaire d'un certain volume résulte de l'accroissement par couches successives d'un embryon de même forme. Ainsi, dans un groupe irrégulier de cristaux, on trouve souvent des individus minéralogiques, identiques pour la

forme, mais d'un volume très-différent : les uns étant quelquefois presque imperceptibles tandis que d'autres ont des dimensions considérables, et l'accroissement par couches successives de ces derniers est rendu évident, même par l'interposition, dans l'intérieur de certains cristaux, d'une pellicule de matière étrangère disposée suivant des plans parallèles aux faces extérieures. D'autres fois, il est vrai, ces mêmes pellicules nous montrent que la cristallisation, après avoir édifié d'abord d'après un certain plan, continue de manière à produire une forme toute différente de celle par laquelle elle avait commencé; ceci tient à quelque changement dans les circonstances qui avaient présidé à l'acte même de la formation des cristaux, ainsi que nous le verrons plus tard. Dans certains cas, il semble que les individus d'un certain volume résultent de l'agglomération ou de l'agrégation régulière d'une foule d'individus plus petits, qui se seraient réunis à mesure qu'ils se formaient au sein du liquide tenant leur substance en dissolution. Il arrive assez souvent toutefois que les faces des minéraux affectant des formes secondaires se trouvent chargées de stries, dirigées justement comme le seraient les bords des lames décroissantes qui auraient pu produire ces formes; mais, dans beaucoup de cas, ces stries peuvent être attribuées à des groupements (1).

On a pu remarquer, dans tous les exemples que nous venons de présenter, que les décroissements, considérés simplement comme méthode de dérivation, conduisaient, en définitive, aux mêmes résultats que les troncatures. Il est facile de voir, en effet, que, pour passer d'une forme donnée à une autre, on opère, par l'un ou l'autre moyen, sur les mêmes parties de la première, considérée comme forme fondamentale, en produisant sur ces parties des faces ayant les mêmes inclinaisons et se conformant, d'ail-

(1) On rencontre dans la nature des cristaux qui offrent des assemblages d'un grand nombre de cristaux réguliers, en général, égaux et d'un petit volume, mais cependant perceptibles même à l'œil nu. Dans ce cas, les figures théoriques données plus haut pour rendre sensible l'effet des décroissements, se trouvent, pour ainsi dire, réalisées; mais il faut bien remarquer que les cristaux dont il s'agit ne sont pas simples; et qu'ils doivent être regardés comme des agrégats réguliers de cristaux ayant une existence propre. M. Beudant a donné de nombreux exemples de ces cristaux agrégés (*groupements directs*) auxquels il a consacré un article spécial (*Traité de minéralogie*, t. I, p. 119) au chapitre des *cristaux groupés*.

leurs, dans tous les cas, à la loi de symétrie. Toute la différence consiste donc, sous ce rapport, en ce que, dans le premier mode, on procède par voie d'addition, et, dans le second, par voie de soustraction. Cette différence même s'efface lorsque, au lieu de considérer les troncatures proprement dites, on a recours, comme nous l'avons fait dans bien des circonstances, à l'emploi des plans tangents (1).

Nous ferons observer, toutefois, que, dans la méthode de Haüy, on réduit tout à la création d'une face qui peut être unique sur chaque partie (troncature) ou se répéter, suivant la symétrie du type, de part et d'autre d'une arête (biseau), ou autour d'un angle (pointement), tandis que notre manière d'appliquer la méthode des troncatures comporte trois moyens : *troncature*, *bisellement*, *pointement*, dont l'emploi méthodique conduit au but d'une manière directe, claire et rapide.

DU CLIVAGE.

Dans les prénotions (page 6), nous avons donné, de la structure régulière et du clivage, une première idée que nous nous réservions d'étendre et de développer plus tard en cristallographie. Plus loin, et notamment dans l'exposition de la théorie des décroissements, nous avons atteint ce but en ce qui concerne la structure ; mais il nous reste à compléter les notions relatives au clivage ; ce sera l'objet de ce court paragraphe.

Origine du mot clivage ; facilité variable du clivage ; moyens de l'opérer. — Le nom de *clivage*, dérivé du mot allemand *klieben* (fendre), a d'abord été employé dans l'art du diamantaire, d'où il est passé dans la minéralogie. Avant de polir sur la meule les diamants bruts, qui ordinairement se trouvent dans la nature à l'état de cristaux rugueux et ternes à la surface, les diamantaires profitent des joints naturels de ce mi-

(1) Nous devons ajouter ici que nous ne comparons ces deux parties des travaux des deux fondateurs de la cristallographie que comme moyens de dérivation. La création de Haüy, caractérisée principalement par l'emploi de la molécule intégrante, a évidemment une bien plus grande portée ; c'est une véritable théorie fertile en conséquences et en applications d'une haute importance, ainsi que nous le verrons un peu plus loin.

néral pour en enlever l'écaille extérieure, ou, comme ils le disent, pour le *cliver*, opération qui, si elle était poussée assez loin, conduirait à un octaèdre régulier dont les faces présenteraient naturellement le poli le plus parfait et le plus vif éclat. Les minéralogistes, en s'emparant de ce terme, n'ont fait que le généraliser en l'appliquant à la division mécanique d'un minéral cristallisé quelconque dans le sens de ses joints naturels.

Dans le calcaire, la galène... on peut obtenir, ainsi que nous l'avons vu, par la percussion la plus grossière, des fragments ayant la forme de polyèdres terminés en tous sens par des faces lisses et brillantes. Mais il s'en faut de beaucoup que le clivage de tous les minéraux se fasse avec autant de perfection et de facilité. Il en est dans lesquels l'opération ne réussit bien qu'en un ou deux sens. Encore faut-il, dans le plus grand nombre des cas, employer, comme le diamantaire, un instrument tranchant un peu émoussé et le faire agir avec le secours de la pression ou du choc du marteau, dans une direction qui approche beaucoup de celle que l'on suppose aux joints intérieurs. On trouve enfin des corps cristallins qui, malgré l'emploi de ses moyens, ne donnent que des fragments à surfaces irrégulières; mais on parvient encore à dévoiler la régularité de leur structure par quelques procédés moins directs, comme le miroitement de leur cassure à une vive lumière (1). Pour certains minéraux même, on a recours à l'*étonnement* d'un cristal fortement chauffé et subitement plongé dans l'eau froide (2).

Aidé de tous ces moyens, on réussit donc presque toujours à découvrir, dans un minéral cristallisé, des joints naturels, suivant lesquels on parvient à détacher, en certain sens, des lames parallèles à surfaces planes et miroitantes; ces joints sont parallèles

---

(1) Après avoir fracturé le cristal de manière à laisser, en partie, la face que l'on suppose parallèle au joint qu'il s'agit de découvrir, on le fait mouvoir à une vive lumière, et souvent il arrive que, au même instant où la portion de face conservée renvoie à l'œil les rayons réfléchis, on aperçoit, à l'endroit de la fracture, des reflets qui partent des lames intérieures.

(2) Ce dernier procédé réussit quelque fois pour le quartz, qui est un des minéraux les plus difficiles à cliver que l'on connaisse. Un cristal auquel on a fait subir cette transition subite d'une forte chaleur au froid, se fendille et se divise même en fragments dont certaines faces se trouvent planes et inclinées entre elles de 94° 15 angle du rhomboèdre primitif de cette espèce.

aux faces d'une forme simple du minéral et leur incidence mutuelle a, par conséquent, une valeur constante dans la même espèce.

Parmi les minéraux qui ne cristallisent pas, comme la saussurite et la néphrite, il n'y a pas non plus d'indices de cristallisation à l'intérieur, c'est-à-dire de clivages ; mais ces minéraux sont très-peu nombreux et parmi eux d'ailleurs il en est qui pourraient être considérés comme des sortes compactes se rattachant à des espèces dont les types sont bien cristallisés.

Clivages surnuméraires. — D'après ce que nous venons de dire, on conçoit que le nombre de directions que peuvent affecter les joints naturels, c'est-à-dire le nombre des clivages, doit être toujours très-limité dans un même minéral; il ne faudrait pas croire, cependant, que ce nombre se réduisît toujours à celui offert par les faces d'une forme simple. Dans quelques minéraux, il se joint à ces derniers, que l'on nomme *clivages principaux* ou *essentiels*, d'autres joints ordinairement parallèles aux diagonales ou perpendiculaires à l'axe, et qu'on désigne par la dénomination de *clivages surnuméraires*, bien que, dans un assez grand nombre de cas, ils s'obtiennent plus facilement que les autres. Ainsi, dans les minéraux qui ont pour forme primitive un prisme rhomboïdal, il arrive souvent que le clivage parallèle aux diagonales est plus facile que celui qui pourrait avoir lieu dans le sens des faces. Cette circonstance, par exemple, est très-manifeste dans l'hypersthène, sorte de pyroxène qui se distingue par la facilité avec laquelle on peut en séparer des lames éclatantes dans le sens de la diagonale horizontale de la base. Nous devons ajouter encore que ces joints ne sont pas aussi constants que ceux de la première sorte : ils n'affectent jamais toute une espèce, mais seulement des sortes ou variétés particulières.

Nous citerons comme exemples le calcaire et la sorte de corindon qu'on appelle *télésie* ou *saphir*. Ce dernier minéral a pour forme primitive un rhomboèdre, et cependant ses cristaux offrent souvent un clivage perpendiculaire à l'axe principal plus facile que celui qui correspond aux faces rhomboédriques, tandis que ce dernier est au contraire fort net dans le corindon harmophane. Les joints surnuméraires du calcaire ne se manifestent que dans certains cristaux particuliers à un petit nombre de localités (Arendal en Norwége, Pesey en Savoie, Barréges). Ils passent par les

diagonales horizontales du rhomboèdre primitif parallèlement aux faces de l'équiaxe. Quelquefois aussi ils suivent la direction des faces du prisme hexagonal déterminé par les arêtes latérales du type.

Différences de facilité; importance du clivage. — Les différences que l'on remarque dans les minéraux, en passant d'une espèce à une autre, sous le rapport de la facilité et de la netteté des clivages, tiennent à la nature même de ces corps et au mode particulier d'agrégation de leurs molécules; jusqu'à présent, c'est un fait qu'on reconnaît sans pouvoir l'expliquer; mais on a été plus heureux en cherchant la cause de l'inégalité qui se manifeste dans les différentes directions qu'offre un même minéral. D'après Haüy, cette inégalité dépendrait de l'étendue superficielle relative des faces par lesquelles les molécules sont agrégées dans le sens de tel ou tel joint. On conçoit, en effet, que l'adhérence des particules et par conséquent la difficulté du clivage soient d'autant plus grandes que les surfaces de contact sont plus considérables. Cette explication rend très-bien compte de l'égalité de trois clivages principaux du calcaire et de la galène, dont les molécules, rhomboédriques pour l'un et cubiques pour l'autre, présentent, pour toutes leurs faces, la même superficie. Elle nous apprend pourquoi il arrive ordinairement que les clivages parallèles aux pans des prismes carrés, rhomboïdaux ou hexagonaux, également faciles quand on les compare l'un à l'autre, offrent ordinairement une netteté différente de celle des joints parallèles aux bases (Ex.: amphibole, mica...). Cependant on ne doit pas considérer cette loi comme tout à fait générale; car on connaît un certain nombre de cas où elle semble se trouver en défaut.

On doit bien penser que les clivages, et surtout les clivages essentiels, doivent occuper un des premiers rangs parmi les caractères des minéraux. Aussi faut-il avoir soin, lorsqu'on décrit une espèce, de faire connaître le nombre de ses clivages, l'angle qu'ils forment entre eux et leur netteté on facilité absolue ou relative.

Rapport entre le clivage et la structure moléculaire. — En traitant des décroissements, nous avons vu comment le clivage, opéré d'une manière méthodique à partir d'une forme secondaire donnée, conduit à un noyau intérieur qui doit être considéré, en général, comme la forme primitive de l'es-

pèce. Nous avons vu aussi que cette division étendue au noyau lui-même ne faisait alors que diminuer son volume sans changer sa forme, conduisant finalement à la molécule intégrante ou cristalline. C'est là le caractère de la forme primitive considérée au point de vue où nous nous trouvons placé. De là cette notion fondamentale que les cristaux, tant primitifs que secondaires, doivent être regardés comme constitués par la réunion et l'agrégation régulière de molécules cristallines de même forme que le noyau ou type primitif.

Ces principes sont simples et empreints de cette beauté qu'offrent tous les plans de la nature, et ce sont eux qui régissent réellement, en première ligne, toute l'ordonnance des cristaux. Il est bon toutefois d'ajouter ici que le clivage n'est pas toujours une conséquence nécessaire de la disposition des faces de la forme primitive, et qu'il est des cas où il ne suffit pas pour indiquer la véritable forme de la molécule. Considérés d'une manière très-générale, les joints naturels correspondent à des plans de moindre résistance qui séparent des tranches moléculaires et il n'est pas indispensable qu'ils correspondent aux faces des molécules. Ainsi, l'on conçoit très-bien que, dans un cube composé de petits octaèdres réguliers, il pourrait exister des clivages cubiques déterminés par les plans suivant lesquels seraient distribués les sommets des molécules octaédriques. De même, un prisme hexagonal pourrait être regardé comme résultant de la réunion de prismes rhomboïdaux dont l'angle serait de 120°, ou de prismes triangulaires (1).

La manière de voir qui vient d'être indiquée, qui d'ailleurs a l'avantage de nous fournir une explication pour la plupart des joints surnuméraires, est d'autant plus admissible que l'on est obligé, en physique, pour expliquer tous les phénomènes et particulièrement ceux de dilatation et de contraction des corps, de supposer que les molécules sont séparées par des intervalles plus ou moins considérables.

---

(1) Cette considération pourrait inspirer quelque incertitude à l'égard de la recherche des joints naturels, surtout dans les cas d'hémiédrie ; mais il y a souvent dans les cristaux des indices accessoires qui viennent au secours de l'observateur. Au premier rang parmi ces indices je placerai les stries régulières, qu'il est permis de considérer comme des traces que la nature a laissées exceptionnellement de son travail, qui, dans la plupart des cas, se trouve caché sous le poli des faces cristallines.

DES PROBLÈMES CRISTALLOGRAPHIQUES LES PLUS UTILES EN MINÉRALOGIE.

Notions préliminaires ; triangle mensurateur. — Nous avons vu que, dans le système de Haüy, les formes secondaires dérivent de la forme primitive par l'application successive, sur les faces de même espèce, d'une série de lames qui décroissent par une ou plusieurs rangées de molécules, soit en largeur, soit en hauteur, tantôt sur les arêtes ou bords, tantôt sur les angles.

On appelle *loi de décroissement* le rapport qui existe entre le nombre de rangées soustraites en largeur et celui des rangées qu'on supprime en même temps dans le sens de la hauteur. A chaque face secondaire, produite sur une forme fondamentale donnée à partir d'un bord ou d'un angle, correspond un rapport particulier de cette nature, et, des nombreuses observations de Haüy, il résulte que généralement ce *rapport est très-simple* (1).

Cela posé, si l'on considère comparativement le nombre fourni par la loi de décroissement relative à une face secondaire, l'inclinaison de cette face sur celle du noyau ou type, et les dimensions de la molécule intégrante, on verra que ces trois quantités sont entre elles dans une dépendance mutuelle : de telle manière que, deux étant connues, on peut déduire la troisième. Un exemple très-simple suffira pour faire sentir la dépendance dont il s'agit. Soit AB xy (*fig.* 247) la coupe longitudinale d'un prisme carré et supposons que, la molécule intégrante étant de même forme que le prisme considéré comme noyau ou solide primitif, on veuille faire naître deux faces secondaires sur les arêtes de la base supérieure projetées en A et B. Il est clair que la loi de décroissement restant constante et, par exemple, étant mesurée par l'unité, l'inclinaison des faces produites AS, BS dé-

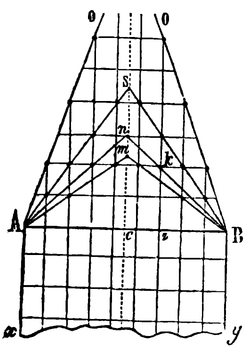


Fig. 247.

(1) On a pu remarquer qu'il en était ainsi dans les divers exemples que nous avons donnés précédemment.

pendra de la hauteur de la molécule. Dans la figure, on a supposé cette hauteur égale à 4, tandis que le côté de la base était 3, et l'on a trouvé l'inclinaison *c*AS; mais pour une hauteur égale à 5 on aurait obtenu un angle plus considérable et pour 2 seulement de hauteur la face eût été moins inclinée.

Maintenant si, la molécule conservant toujours les mêmes dimensions (4 et 3), on change la loi de décroissement, il est clair que l'inclinaison de la face secondaire éprouvera des variations correspondantes. La figure montre ce qu'elles deviendraient pour un décroissement par deux rangées en largeur, auquel cas la face aurait la position A*m*, ou par deux en hauteur (A*o*), et pour un décroissement mixte par trois rangées en largeur contre deux en hauteur, rapport qui correspond à la face A*n*. L'effet de ces divers décroissements sur les quatre bords de la base supérieure du prisme serait de produire des pyramides plus ou moins aiguës ou surbaissées.

Ce rapide aperçu suffit pour faire concevoir la possibilité et l'utilité, sous le rapport minéralogique, de la solution des trois problèmes suivants, qui ne forment toutefois qu'une partie de ceux que la cristallographie peut se proposer, et qui consistent à déterminer :

1° la molécule intégrante, ou, ce qui revient au même, la forme primitive;

2° les incidences des faces secondaires sur les faces de la forme primitive et les angles dièdres qu'elles forment entre elles;

3° la loi de décroissement en vertu de laquelle chaque face a pris naissance, question qui conduit à la notation de cette face et aux formules cristallographiques.

La solution de ces trois problèmes nous entraînerait très-loin si nous voulions la donner d'une manière complète. Nous devons nous borner à l'indiquer et à faire connaître quelques applications particulières fort simples ayant d'ailleurs une véritable utilité pratique.

Nous ferons précéder cette partie complémentaire de la théorie des décroissements, de quelques notions sur le *triangle mensurateur*, que l'on peut regarder comme le moyen principal à employer pour résoudre les questions de ce genre.

Si l'on se reporte à la figure 247, et que l'on considère, par exemple, la ligne B*n*, qui n'est autre chose que la projection ver-

ticale d'une face secondaire donnée par la loi de décroissement mixte de trois en largeur sur deux en hauteur, on remarquera que le point *k*, qui détermine l'inclinaison de cette face, correspond au bord de la première lame de superposition. Or, dans le triangle B*kz*, se trouvent : 1° l'angle *k*B*z* que forme la face dont il s'agit avec la base du prisme ; 2° la base B*z*, qui est égale à la largeur d'une molécule multipliée par le nombre (3) de rangées soustraites en largeur ; 3° la hauteur *kz*, qui représente la hauteur d'une molécule répétée autant de fois (2) qu'on a retranché de rangées dans ce sens. C'est ce triangle, qui renferme les éléments des problèmes cristallographiques les plus importants, que Haüy appelait *triangle mensurateur* et qu'il a employé constamment dans ses recherches. Nous ferons remarquer qu'il est semblable au triangle B*nc* dont l'angle droit est formé par la moitié du côté AB du prisme fondamental et par la hauteur *nc* à laquelle la face vient rencontrer l'axe principal. Rien ne s'opposerait donc à ce que l'on substituât ce triangle au premier, et comme il a sur le triangle de Haüy l'avantage d'être donné presque immédiatement par le cristal dont il présente les principales dimensions, nous nous en servirons de préférence.

Une conséquence de ce que nous venons de dire est que le triangle mensurateur doit avoir sa base dans le sens de la véritable largeur des molécules, lorsqu'il s'agit toutefois de décroissements sur les bords, et qu'il est nécessaire que cette base, ainsi que l'hypothénuse, qui doivent comprendre entre elles l'angle dièdre de la question, soient perpendiculaires sur l'arête parallèlement à laquelle le décroissement a lieu. Dans l'exemple que nous venons de donner, ces conditions se trouvaient remplies dans le plan même de la figure, à cause de la rectangularité du solide fondamental ; mais il n'en serait pas ainsi dans le cas où les angles de cette forme ne seraient pas droits : il faudrait alors faire une construction spéciale. Supposons, par exemple, qu'on ait un prisme ortho-rhombique AG (voyez plus loin *fig.* 249) : soit ABCD la base de ce prisme et *oo'* sa hauteur. On obtiendrait, dans ce cas, le triangle mensurateur en menant du centre *o* de la base une perpendiculaire *og* sur le côté BD à partir duquel doit se faire le décroissement, et en joignant le point *g*, pied de cette perpendiculaire, au point S où la face secondaire est censée couper l'axe.

S'il s'agissait d'un décroissement sur l'angle A d'un prisme droit carré ou rhomboïdal, le triangle se construirait bien simplement en joignant le point S au sommet de cet angle ; mais alors la base o A représenterait autant de demi-diagonales de molécules qu'il y aurait de rangées soustraites en largeur parallèlement à la diagonale B C.

Recherche de la forme primitive. — La première chose à connaître, c'est le système cristallin. Pour y arriver, après avoir donné au cristal dont il s'agit la position normale et avoir déterminé sa forme dominante, il faut chercher le nombre et la disposition des faces identiques existant autour de l'axe principal.

C'est ainsi qu'après avoir aperçu dans le cristal (*fig.* 248) un prisme hexagonal et l'ayant placé en conséquence, l'inspection des angles dièdres des faces latérales ayant d'ailleurs fait connaître des différences qui excluent le prisme hexagonal régulier, on conclura naturellement de ce premier examen que le cristal ne peut être qu'un prisme rhomboïdal M dont les arêtes latérales aiguës auraient été remplacées par des faces *h*. La question est de savoir ensuite si ce prisme est droit ou oblique. C'est évidemment le deuxième cas qu'il faut admettre, puisque les facettes *b* n'existent que d'un côté à chaque extrémité, tandis qu'elles devraient se répéter du côté opposé si le prisme était droit ; il reste d'ailleurs une portion de base qui est inclinée sur l'axe. On est donc conduit de la sorte à voir dans le cristal proposé un prisme rhomboïdal unoblique portant des troncatures sur toutes ses arêtes aiguës. La mesure de l'angle obtus des faces latérales M, qui donnerait 124° ½, indiquerait d'ailleurs que ce cristal appartient à l'espèce amphibole.

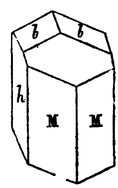


Fig. 248.

Nous devons prévenir toutefois qu'il pourrait se présenter des cas embarrassants : lorsque, par exemple, des prismes carrés ou rectangulaires sont très-voisins du cube eu égard à une très-faible différence dans leurs dimensions, quand un prisme rhomboïdal se rapproche beaucoup d'un prisme carré à cause de la presque égalité de ses angles, ou quand un octaèdre carré ou rectangulaire diffère très-peu de l'octaèdre régulier. C'est alors surtout qu'il faut étudier avec soin la position et l'inclinaison des facettes secon-

daires, afin de découvrir quelque indice de dissymétrie susceptible d'accuser des différences de dimension que l'œil ou même les instruments ne pourraient saisir. C'est ainsi que des déterminations précises en apparence ont été reconnues plus tard erronées par suite de la découverte de nouvelles formes secondaires. La mésotype, par exemple, avait été considérée par Haüy comme ayant pour forme primitive un prisme carré avant qu'il connût la vérité sexoctonale qui montre des facettes sur deux arêtes latérales seulement, circonstance qui indique un prisme rhomboïdal.

Le système cristallin étant déterminé, il peut y avoir lieu de chercher le sous-système, ce qui est beaucoup plus délicat. Il faut pour cela tenir compte de l'ensemble des formes spéciales du minéral que l'on étudie, rechercher avec soin les cas de dissymétrie géométrique que les cristaux pourraient offrir, et quelquefois même avoir recours aux propriétés physiques des différentes parties d'un même cristal, comme la dureté, les phénomènes optiques, l'électricité polaire, le degré de poli, la direction des stries. D'ailleurs, les caractères empiriques viendront aider ici puissamment l'observateur. Ajoutons que ce n'est que rarement que des recherches de ce genre viendront se présenter au minéralogiste, excepté cependant pour le sous-système rhomboédrique, qui régit un grand nombre d'espèces et dont les prismes pourraient être confondus quelquefois avec ceux du système hexagonal. Quand ces prismes sont simples, on est obligé, pour s'assurer de leur caractère hémiédrique, d'avoir recours aux propriétés physiques et surtout au clivage. Dans les cas où les mêmes cristaux portent des facettes secondaires, celles-ci suffisent ordinairement pour faire cesser toute incertitude. C'est ainsi que le prisme hexaèdre de l'émeraude se distingue de celui du calcaire par les facettes, au nombre de six, qui souvent interceptent les arêtes de ses bases, tandis qu'on n'en trouve jamais que trois alternatives sur les prismes du second minéral qui, d'un autre côté, se sépare de la tourmaline par la forme trigone des cristaux de cette dernière espèce et par la dissymétrie de leurs extrémités.

Connaissant le système du cristal que l'on étudie, il faut enfin arriver à la forme primitive elle-même. Il est évident d'abord que cette forme doit être choisie parmi les formes simples du système, et, à la rigueur, on pourrait prendre arbitrairement l'une quel-

conque d'entre elles. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il ne s'agit pas ici d'un problème de géométrie, mais bien d'une question d'histoire naturelle, et qu'il faut nécessairement, et avant tout, consulter la nature. Or, il est évident que cette considération nous conduit à adopter, autant que possible, le solide donné par le clivage normal, solide que nous supposons semblable à la molécule intégrante. Lorsque le clivage n'est pas assez net pour indiquer clairement cette forme, on a recours à l'ensemble des formes du minéral et l'on adopte celle qui se trouve indiquée par des considérations de simplicité ou d'harmonie cristallographiques. Ces considérations doivent prévaloir même, dans certains cas, sur les données offertes par les joints naturels. Ainsi, la plupart des minéralogistes admettent maintenant, pour le feldspath orthose, un prisme rhomboïdal unoblique dans la constitution duquel n'entre que l'un des plans indiqués par le clivage rectangulaire qui cependant est un caractère distinctif de cette espèce.

Par l'un ou l'autre de ces moyens, on pourra arriver non-seulement au genre de la forme primitive, mais même à l'espèce toutes les fois qu'il s'agira de formes fermées. Ainsi, les formes cubique, octaédrique, rhomboédrique, seront immédiatement déterminées par la mesure des angles ; mais il n'en sera pas ainsi des prismes, dont les dimensions ne se trouvent pas dans un rapport nécessaire. Dans ce cas, il faut avoir recours à la forme fermée conjugée, comme nous l'avons indiqué d'une manière générale dans le paragraphe relatif aux dimensions. Ainsi, la cassitérite, la mélinose et le zircon offrent, tous trois, pour formes primitives, des prismes carrés ; mais ces solides portent souvent sur leurs arêtes basiques des faces ou facettes conduisant à des octaèdres de hauteurs différentes. On choisit d'ailleurs, pour chaque espèce, parmi les divers octaèdres qu'elle est susceptible de présenter, celui qui est le plus habituel ou qui est indiqué par le clivage ou par quelque autre circonstance remarquable, et l'on suppose que le prisme a la même hauteur.

Le problème se trouve donc ramené à la recherche des dimensions de ces formes fermées substituées aux formes ouvertes. Pour arriver à ces dimensions, on pourrait avoir recours à des moyens graphiques ; mais on les obtient d'une manière bien plus exacte par le calcul, en partant des inclinaisons des faces ou facettes qui les forment ou qui tendent à les former, sur les faces du solide

primitif, angles que l'on peut mesurer avec une grande précision, au moyen du goniomètre.

Pour donner un exemple de ce genre de recherches, nous supposerons qu'il s'agisse de calculer la hauteur du prisme primitif de la barytine. On sait que ce prisme, indiqué par le clivage, est orthorhombique, et que l'angle obtus de ses faces latérales a 101° 42′. Parmi les faces secondaires que l'on trouve sur certains cristaux naturels, il en est plusieurs qui affectent les arêtes de la base et qui font avec cette base des angles, identiques pour les faces d'une même catégorie, mais différents quand on les prend dans des catégories distinctes. Si l'on considère en particulier quatre facettes qui correspondent à une inclinaison donnée et si on les prolonge jusqu'à leur rencontre avec l'axe vertical, on les verra produire un demi-octaèdre droit ayant pour base celle du prisme et pour hauteur une longueur qui dépendra de l'inclinaison des facettes en question. La nature présente jusqu'à cinq catégories de facettes de ce genre qui correspondent à autant d'octaèdres, et celles d'un quelconque de ces octaèdres sont susceptibles d'être prises pour point de départ dans la question qui nous occupe. Toutefois, on obtient des lois de décroissements plus simples en fixant son choix sur une catégorie intermédiaire qui correspond à un angle de 133° 50′ formé par les faces avec le résidu de la base qui couronne habituellement les cristaux de la barytine (voyez plus loin la figure 251).

Cela posé, soit ABCD (*fig.*249) la base supérieure du prisme primitif, et du point o, centre de cette base, abaissons une perpendiculaire og sur l'un des côtés, sur BD, par exemple; joignons ensuite le point g à un point S de l'axe, mais de telle manière que la ligne Sg, perpendiculaire aussi à BD, fasse avec og un angle Sgo égal à 46° 10′, supplément de 133° 50′, valeur de l'angle formé par la face Sg avec la base supérieure du cristal primitif; il est évident que la ligne Sg sera dans le plan de la face secondaire dont il s'agit et qu'elle en marquera l'inclinaison sur la base ABCD, de sorte que l'angle Sgo mesurera cette inclinaison prise à l'intérieur. Maintenant, le tri-

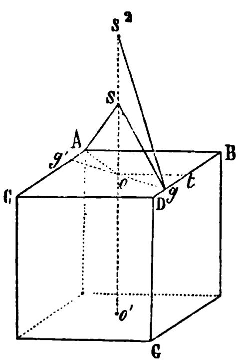


Fig. 249.

angle mensurateur Sgo renferme d'abord cette inclinaison $Sgo = 46^\circ\ 10'$, et ensuite go moitié de gg', largeur du prisme primitif, et So, demi-hauteur de l'octaèdre; or, dans ce triangle, on a :

$$\frac{So}{og} = \text{tang. } 46^\circ\ 10'$$

Ce rapport peut être facilement calculé. Je ferai remarquer qu'il représente celui de la hauteur totale $2So = oo'$ à la largeur $gg' = 2og$ du prisme conjugué.

Si l'on voulait connaître la relation de la hauteur au côté même de la base, il suffirait de se procurer la valeur de $ot = \frac{1}{2}AB$ en fonction de og, ce qu'on pourrait faire facilement par le moyen du triangle rectangle otg, où l'on connaît og et l'angle otg qui est égal à B ou à $180^\circ - 101^\circ\ 42'$.

Le résultat de ce calcul donnerait :

$$ot = og \text{ sin. } 101^\circ\ 42'$$

et, en appelant H la hauteur du prisme :

$$\frac{ot}{So} = \frac{AB}{H} = \frac{\text{sin. } 101^\circ\ 42'}{\text{tang. } 46^\circ\ 10'} = \frac{50}{51}$$

Ce sont là, en effet, les dimensions adoptées pour la forme primitive de la barytine.

Si, en conservant la dimension $AB = 50$ pour côté de la base des quatre autres catégories de facettes ou octaèdres de la barytine, on cherchait les hauteurs des prismes correspondants, on trouverait que ces hauteurs sont :

$$2H,\ \tfrac{2}{3}H,\ \tfrac{1}{2}H,\ \tfrac{1}{3}H$$

Les rapports 2, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ expriment en même temps les hauteurs auxquelles les facettes dont il s'agit viennent couper l'axe vertical, ce qui signifie, dans la théorie des décroissements, que les facettes inclinées de $136^\circ\ 50'$ sur la base du prisme primitif correspondant à un décroissement par une rangée, les autres seraient produites par des décroissements de deux rangées en hauteur (c'est celui qui aurait son sommet en S^2 dans la figure 249), de deux en hauteur sur trois en largeur, de deux en largeur, et enfin de trois en largeur.

En général, l'adoption des dimensions qui viennent d'être indiquées pour les formes primitives devra conduire, pour les diverses faces ou facettes des sommets, à des lois de décroissement très-simples, comme dans le cas de la barytine. Ce résultat, d'ailleurs, n'est qu'une forme nouvelle d'un seul et même principe que nous avons déjà fait connaître sous le nom de *loi de rationalité des axes*.

Recherche des incidences des faces secondaires sur les faces primitives; angles dièdres du solide secondaire. — Cette question peut paraître oiseuse au premier abord; car les angles dont il s'agit s'obtiendraient directement par le goniomètre. Cependant nous nous y arrêterons un instant dans le but de faire entrevoir le parti que Haüy en a tiré pour contrôler les résultats de l'expérience d'une part, et, d'un autre côté, pour prévoir toutes les formes possibles auxquelles une forme primitive donnée peut conduire.

Le triangle mensurateur est encore ici le moyen le plus efficace, l'angle cherché se trouvant dans ce triangle où l'on est supposé connaître d'ailleurs le rapport de la base à la hauteur. Donnons quelques exemples.

Le premier que nous nous proposerons sera la détermination de l'inclinaison des faces *h* de l'hexatétraèdre le plus fréquent (*fig.* 70) sur les bases du cube primitif et celle de l'angle formé par deux de ces faces situées de part et d'autre d'une arête du cube.

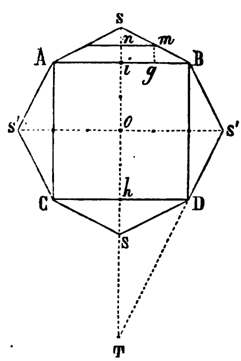


Fig. 250.

On sait que ces faces résultent d'un décroissement par deux rangées en largeur sur l'arête ou bord dont il s'agit; on connaît d'ailleurs la forme de la molécule intégrante, qui est le cube. Cela posé, soit ABCD (*fig.* 250), une section du cube fondamental passant par l'axe vertical SS et par l'un des axes horizontaux S'S', si l'on considère **B*i*** comme représentant deux largeurs de molécules et que l'on prenne sur SS, à partir du point *i*, une hauteur *i*S égale à la moitié de B*i*, le triangle S*i*B sera le triangle mensurateur, et son hypothénuse BS représentera la projection de la face secondaire

qui naît du décroissement au-dessus de l'arête projetée en B. Or, dans ce triangle SBi, on a :

$$\text{tang. } SBi = \frac{Si}{Bi} = {}^{1}/_{2}$$

$$\text{d'où} \quad SBi = 26^{\circ}\,34' \text{ et } BSi = 63^{\circ}\,26'$$

On peut facilement déduire de ces valeurs, celles des angles Bmn et ASB, savoir :

$$Bmn = 180^{\circ} - 26^{\circ}\,34' = 153^{\circ}\,26'$$

$$ASB = 2BSi = 126^{\circ}\,52'$$

Si maintenant on prend sur l'axe S′S′ une longueur oS′ égale à oS et qu'on joigne B et S′, la droite BS′ ne sera autre chose que la projection d'une face secondaire développée au-dessous de l'arête B du cube, et l'angle SBS′ mesurera l'incidence des deux faces SB et S′B de l'hexatétraèdre. Cet angle est ici très-facile à évaluer, car on a :

$$SBS' = 90^{\circ} + 2SBi = 90^{\circ} + 53^{\circ}\,8' = 143^{\circ}\,8'$$

Cette valeur n'est pas susceptible de plus ni de moins, car elle est basée sur des théorèmes incontestables de géométrie et de trigonométrie et sur une hypothèse si probable qu'on peut la considérer comme une réalité, celle d'un décroissement par deux rangées en largeur. Aussi les mesures directes conduisent-elles tout près de ce résultat, et cela d'autant plus que l'on a opéré dans de meilleures conditions.

En appelant 2 a le côté du cube primitif, on a :

$$iB = a \quad \text{et} \quad Si = {}^{1}/_{2}\, a$$

$$\text{d'où} \quad oS = {}^{3}/_{2}\, a \quad \text{et} \quad 2oS \text{ ou } SS = 3a$$

C'est la longueur que nous avions en effet indiquée ailleurs pour l'axe de l'hexatétraèdre particulier dont il s'agit ; c'est aussi celle de l'hexadièdre ordinaire (pyritoèdre), qui peut être considéré, ainsi que nous l'avons déjà dit, comme le solide précédent réduit à la moitié de ses faces.

Prenons pour second exemple un cas dans lequel il faudra construire spécialement le triangle mensurateur. Ce cas nous sera

offert par le cristal de barytine représenté figure 251 qui dépend du système ortho-rhombique. Ce cristal se compose du prisme primitif portant, sur ses arêtes basiques, des facettes *z* ayant la forme de trapèzes. C'est l'inclinaison de ces facettes sur les pans du prisme qu'il s'agit de déterminer. Nous supposons, d'ailleurs, que chacune de ces facettes secondaires résulte d'un décroissement par deux rangées en hauteur sur les bords basiques de la forme primitive, dans laquelle le rapport du côté de la base à la hauteur est à peu près celui de 50 à 51. Cette dernière forme se trouve représentée dans la figure 249 avec ses véritables dimensions. Reportons-nous à cette figure où BD sera, je suppose, l'arête sur laquelle aura lieu le décroissement. Si nous menons du centre *o* de la base sur ce côté la perpendiculaire *og*, elle représentera la moitié de la largeur du prisme primitif, et, en portant, à partir de *o* sur l'axe principal, une longueur oS^2 égale à la hauteur oo' du prisme, elle correspondra à deux hauteurs de molécules, si *og* représente une largeur simple ; de sorte que $S^2 g$ marquera la position de la face secondaire et que l'angle $S^2 go$ mesurera l'inclinaison de son plan sur la base du prisme. $S^2 og$ sera donc le triangle mensurateur. Or, dans ce triangle, *h* étant la hauteur et *l* la largeur d'une particule, on a :

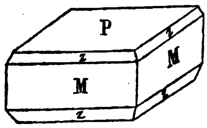


Fig. 251.

$$\text{tang. } S^2\, g\, o = \frac{S^2\, o}{o\, g} = \frac{2\, h}{l}$$

Or, on connaît $2h = 51$; *l* pourrait se trouver par construction ; mais on pourrait l'avoir aussi par la résolution du triangle *og t* où l'on connaît *ot*, moitié du côté de la base, égal par conséquent à 25, et l'angle otg = ABD ; d'où il est facile de trouver la valeur numérique de tang. $S^2 go$. Cette valeur correspond à un angle de 64° 26′. Ajoutant à ce nombre 90°, on obtient 154° 26′, valeur de l'angle de *z* sur M dans la figure 252; l'angle de *z* sur P n'est autre chose que le supplément de $S^2 go$, et se trouverait, en retranchant 64° 26′, de 180°, ce qui donnerait 115° 34′.

Pour donner un exemple de décroissement sur les angles, cherchons l'inclinaison sur la base du cube, des faces du trapézoèdre de l'amphigène (leucitoèdre). On sait que chacune de ces faces est produite par un décroissement de deux rangées en largeur sur un

angle. Supposons qu'il s'agisse de la face qui prend naissance sur l'angle A du cube primitif (*fig.* 252), et qui doit s'élever au-dessus de la base ABCD parallèlement à la diagonale BD : je joins le centre o de cette base au point A ; Ao sera une demi-diagonale que nous pourrons prendre pour base du triangle mensurateur. Si nous la considérons comme correspondant au retrait de deux molécules en largeur, elle devra représenter deux demi-diagonales moléculaires, c'est-à-dire une diagonale entière. D'où il résulte que la molécule intégrante adoptée dans ce cas aura des dimensions moitié moindres que celles du cube primitif, et que, par conséquent, la hauteur So du triangle que nous construisons devra être égale à la moitié du côté ou de l'axe $2a$ de ce même cube. Ayant joint les deux points A et S, il est évident que SA marquera la position de la face secondaire, et que SAo sera l'angle qu'elle forme avec la base supérieure du cube ; or, on a :

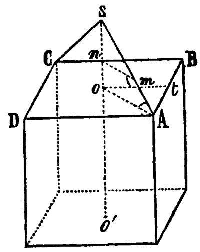


Fig. 252.

$$\text{tang. } SAo = \frac{So}{Ao} = \frac{a}{Ao}.$$

On peut obtenir facilement Ao en fonction du demi-côté a du cube au moyen du triangle rectangle Aot qui donne :

$$Ao = \sqrt{\overline{ot}^2 + \overline{At}^2} = \sqrt{2\,\overline{At}^2} = a\sqrt{2}$$

la valeur de tang. S Ao devient alors : $\frac{a}{a\sqrt{2}}$ ou $\frac{1}{\sqrt{2}}$,

quantité qui correspond à un angle de 35° 16′.

L'angle supplémentaire Amn, formé par la face naissante du trapézoèdre avec le résidu de la face du cube, aurait pour valeur 180° — 35° 16′ ou 144° 44′. L'angle ASo, complément de SAo, serait égal à 90° — 35° 16′ ou 54° 44′, dont le double, 109° 28′, mesure l'incidence de la face dont il s'agit sur celle qui lui est opposée et qui résulterait du même décroissement agissant sur l'angle C.

Haüy a tiré un parti très-avantageux et très-étendu du triangle mensurateur et d'autres moyens encore que nous ne pouvons pas même indiquer ici, dans le but de contrôler les résultats obtenus

physiquement à l'aide du goniomètre. Dans beaucoup de cas, en effet, les valeurs auxquelles on arrive théoriquement sont des limites fixes dont les méthodes expérimentales approchent plus ou moins, suivant le degré de perfection des cristaux, des instruments et suivant l'habileté de l'observateur, et les angles donnés par le calcul doivent être préférés (1).

Recherche de la loi de décroissement relative à une face donnée. — Ce problème est intimement lié à celui de la recherche des dimensions de la forme primitive. Haüy a traité simultanément les deux questions dans un grand nombre de cas par des tâtonnements qui consistaient à essayer les formes de molécules que l'étude des cristaux lui faisait entrevoir et à en conclure les lois de décroissement qui devaient conduire aux faces secondaires dont l'inclinaison mutuelle, ou sur les faces de la forme primitive, lui était connue directement par le moyen du goniomètre. Il s'arrêtait à la forme et aux dimensions qui s'accordaient avec les lois de décroissement les plus simples. Il est des cas cependant où la forme de la molécule intégrante est commandée par quelque circonstance importante, le clivage par exemple, ou par la nature du système, comme dans le groupe régulier ; alors on peut arriver directement à la loi de décroissement par le moyen du triangle mensurateur. Ainsi, dans les exemples que nous avons traités dans le paragraphe précédent, si l'on suppose connu l'angle de la face secondaire sur la base du solide primitif, la molécule étant cubique, on trouvera facilement le rapport de la base à la hauteur du triangle, d'où l'on déduira immédiatement la loi en vertu de laquelle la face dont il s'agit a été produite aux yeux de la théorie.

S'il s'agit d'abord de l'hexatétraèdre, l'angle SBS′ (*fig.* 250) étant connu et égal à 143° 8′, on en retranchera 90° et on divisera

---

(1) C'est ainsi, comme nous l'avons vu, que les chimistes se servent des considérations atomiques pour contrôler les analyses. Il y a là encore un rapprochement que l'on peut regarder comme un trait particulier de l'analogie générale qui existe entre les lois qui régissent la forme, d'une part, et la substance de l'autre. On se rappelle que nous avons déjà signalé cette curieuse analogie en comparant au principe des proportions multiples celui de la rationalité des axes, qui n'est lui-même qu'une forme de celui de la *rationalité des décroissements*.

ensuite par 2 pour avoir S B*i*, dont la valeur sera 26° 34. Or 2*a* étant le côté du cube, on a :

$$\text{tang. } 26^\circ\ 34' = {}^1/_2 = \frac{S\,i}{B\,i}$$

$$\text{d'où} \quad S\,i = {}^1/_2\, B\,i = {}^1/_2\, a$$

Il est facile de conclure de là que le décroissement relatif à la face S B a lieu par deux rangées en largeur.

Dans le cas du trapézoèdre, on peut partir de l'angle CSA = 109° 28′ (*fig.* 252) qui peut être mesuré par le goniomètre, d'où $o\text{SA} = \frac{\text{CSA}}{2} = 54^\circ\ 44'$ dont le complément, 35° 16′, n'est autre que l'angle SA*o* du triangle mensurateur AS*o*. Or, dans ce triangle,

$$\text{tang. } S\,A\,o\ (35^\circ\ 16') = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{S\,o}{o\,A}$$

et le triangle rectangle *to*A donne, d'ailleurs, *o*A = $a\sqrt{2}$. On arrive donc au résultat suivant :

$$\frac{S\,o}{a\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad \text{d'où} \qquad S\,o = a$$

Si nous prenons S*o* pour la hauteur d'une molécule intégrante, ses dimensions seront la moitié de celles du cube primitif, que nous supposons toujours égales à 2*a*; donc *o*A sera la longueur de la diagonale entière d'une de ses faces. J'en conclus que le décroissement cherché a lieu par deux rangées en largeur, puisque chaque rangée de molécules soustraites sur A doit produire, à partir de cet angle, un retrait d'une demi-diagonale moléculaire.

Les considérations dans lesquelles nous venons d'entrer conduisent à plusieurs résultats intéressants. Nous signalerons d'abord la détermination, *à priori*, de toutes les formes secondaires qui peuvent dériver d'un type donné. On arrive à résoudre cette question par des tâtonnements assujétis toutefois au principe qui veut que les faces secondaires résultent toujours d'un décroissement rationnel et très-simple. S'il s'agit, par exemple, de se rendre compte de toutes les faces qui pourraient exister sur un bord, on construira des triangles mensurateurs en essayant successivement toutes les

lois de décroissement dans les limites indiquées par l'ensemble des observations. Ces triangles donneront, pour déterminer la position de ces faces, des angles qui devront nécessairement comprendre tous ceux que la nature a offerts dans les cristaux du minéral dont il s'agit, plus ceux qu'elle serait susceptibles d'offrir et qui existent peut-être à l'insu des observateurs.

Une autre question très-utile se rattache directement à celle-ci. C'est celle où il s'agit de vérifier si une face donnée par la nature peut s'accorder avec l'hypothèse d'une forme primitive déterminée, ou si une forme offerte par un minéral peut être identifiée avec tel ou tel polyèdre analogue de la géométrie ; comme, par exemple, si la pyrite est susceptible de cristalliser sous la forme du dodécaèdre pentagonal ou de l'icosaèdre réguliers. On sait que Haüy a résolu cette question d'une manière absolument négative, tandis que Romé de Lisle s'était prononcé pour l'affirmative, cédant à l'influence du premier coup d'œil.

NOTATIONS ET FORMULES CRISTALLOGRAPHIQUES.

Notations et formules de Haüy. — Nous avons indiqué ailleurs (page 81) le moyen de représenter les diverses parties d'un solide que l'on considère comme forme fondamentale, et d'accuser aux yeux immédiatement le degré de symétrie de ce solide quel qu'il soit. On conçoit qu'il pourrait être très-utile, ou au moins fort intéressant, de posséder un mode de notation des faces secondaires produites en vertu de tel ou tel décroissement. Celui qui a été donné par Haüy est très-expressif et d'une concision remarquable (1), et a servi de base ou de point de départ pour tous les autres. Nous allons le faire connaître.

Nous savons maintenant que les faces secondaires sont données, dans la théorie de Haüy, par des décroissements simples ou mixtes agissant sur les bords ou sur les angles de la forme primitive. Pour indiquer les décroissements de l'une ou de l'autre de ces deux catégories, Haüy emploie les chiffres 1, 2, 3, 4 lorsqu'il s'agit d'un

(1) Il est très-probable que ce moyen a suggéré à Berzélius l'idée de ses formules chimiques, dont la similitude avec celles de la cristallographie n'est qu'une conséquence de l'analogie, déjà plusieurs fois signalée, qui existe entre l'ordre de choses de la forme et celui de la substance.

nombre de rangées soustraites en largeur, et les fractions $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, quand il faut indiquer deux, trois ou quatre rangées retranchées en hauteur. Les décroissements mixtes sont représentés par des fractions dont le numérateur signale le nombre de rangées soustraites en largeur, et le dénominateur le nombre de rangées à supprimer dans la hauteur. Ainsi, $^2/_3$ indiquerait un décroissement mixte par deux rangées en largeur sur trois en hauteur.

Cela posé, on désigne un décroissement quelconque, sur un bord ou sur un angle, par la lettre qui représente l'une ou l'autre de ces parties, affectée du chiffre qui indique le décroissement conformément à la convention précédente, et, pour rendre la formule aussi expressive que possible, on place ce chiffre au-dessus ou au-dessous, à droite ou à gauche, de la lettre dont il s'agit, suivant la position de la face produite relativement au bord ou à l'angle initial (1).

Voici quelques exemples de ces notations avec leur signification en regard :

$\overset{2}{B}$ face produite au-dessus du bord B par deux rangées en largeur.
$\underset{3}{B}$........... au-dessous de B par trois rangées en largeur.
$\overset{1/2}{B}$........... au-dessus de B par deux rangées en hauteur.
G_4.......... à droite de l'arête G par quatre rangées en largeur.
$\overset{3/2}{A}$........... au-dessus de l'angle A par un décroissement mixte de trois en largeur sur deux en hauteur.

Dans le cas où la même partie de la forme primitive aurait à subir deux décroissements successifs, on répéterait deux fois la lettre indicative en l'affectant successivement des chiffres destinés à représenter ces deux décroissements. H^2H^3, par exemple, signifieraient, d'après cette convention, que l'arête H a du être la ligne de départ de deux décroissements en largeur à sa droite, l'un par deux et l'autre par trois rangées.

Si le même décroissement devait se faire de chaque côté ou au-

(1) Lorsque le bord ou l'angle que l'on considère se trouve placé en haut du cristal, immédiatement en face de celui qui l'étudie, la gauche et la droite, le dessus et le dessous s'offrent à lui immédiatement ; mais il n'en serait plus ainsi pour une partie située derrière ou en bas. Dans ce cas, il faudrait tourner le cristal de manière que la partie dont il s'agit se trouvât en haut et devant l'observateur.

dessus et au-dessous d'une même arête ou d'un même angle, on pourrait n'écrire qu'une seule fois la lettre représentant cette partie de la forme primitive, en plaçant le chiffre du décroissement à droite et à gauche ou au-dessus et au-dessous. D'après cela, $^2G^2$ indiquerait deux faces secondaires résultant d'un décroissement par deux rangées en largeur, l'un à droite et l'autre à gauche de l'arête G.

Les formules relatives aux décroissements intermédiaires sont un peu plus compliquées. S'il s'agit d'un prisme, par exemple, la formule devra offrir d'abord la désignation de l'angle sur lequel se fait le décroissement portant un chiffre indiquant le nombre de dimensions de molécules soustraites dans le sens de l'arête verticale qui passe par l'angle que l'on considère. A cette notation sont annexées celles des deux autres arêtes qui partent du même angle, affectées chacune d'un chiffre qui fait connaître, par sa position, le sens du décroissement et, par sa valeur, le nombre de dimensions soustraites dans la direction de l'arête dont il s'agit ; le tout est placé entre parenthèses. Ainsi, pour représenter la face *i* du solide à quarante-huit faces produit par un pointement double sur les angles du cube (*fig.* 76 et 77) et qui serait donnée par la soustraction de molécules sextuples ayant pour hauteur 3, pour longueur 2 sur le côté B de droite, et pour largeur 1 sur le côté B de gauche, il faudrait écrire $(A^{1}/_{3},\ {}^{1}B,\ B^{2})$.

Il va sans dire que chaque notation d'une face s'applique à toutes les faces de même ordre ou, en d'autres termes, à celles qui modifient de la même manière toutes les parties identiques de la forme primitive; d'où il suit que la formule doit être d'autant plus simple que le cristal qu'elle représente possède une symétrie plus parfaite.

Avec ces moyens de représenter toutes les faces secondaires quelles qu'elles soient, il est facile de former le signe représentatif d'un cristal quelconque. Il suffit, pour cela, de placer à la suite les unes des autres les indications des diverses faces tant primitives que secondaires qui le constituent, en ayant soin de les disposer dans l'ordre où ces faces se présentent lorsqu'on jette un coup d'œil général sur le cristal, c'est-à-dire en commençant par celles qui composent le corps du minéral cristallisé, et remontant de là aux faces du sommet que l'on notera successivement, de bas en haut, jusqu'aux faces terminales.

Il est bien entendu qu'on ne devra s'occuper que du sommet supérieur, celui d'en bas étant supposé constitué identiquement comme le premier.

Haüy ne manque jamais de faire usage de ces formules cristallographiques dans ses descriptions d'espèces; mais il n'a pas jugé qu'il fût utile ni commode de les introduire dans les figures, où il se contente de désigner les faces ou facettes d'un ordre déterminé par une petite lettre qu'il prend, d'ailleurs, à peu près arbitrairement.

Pour faire saisir d'un coup d'œil l'économie de ces formules, relativement aux figures, même dans le cas où elles sont assez compliquées, Haüy a pris la précaution de placer cette petite lettre indicative sous le signe scientifique de chaque face.

Quelques exemples achèveront de faire comprendre la valeur représentative des formules de Haüy et mettront mieux sur la voie à suivre pour les former ou pour les traduire.

L'hexatétraèdre (*fig.* 70) et le trapézoèdre (leucitoèdre) (*fig.* 73) seront complétement représentés, le premier par la formule $\overset{2}{B}$ et le second par $\overset{2}{A}$, puisqu'ils résultent tous deux d'un décroissement par deux rangées en largeur, l'un sur les bords et l'autre sur les angles du cube pris pour forme fondamentale.

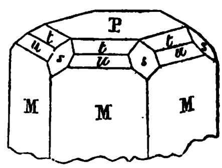


Fig. 253.

Pour citer un cas de cristal composé, prenons l'émeraude *soustractive* de Haüy (*fig.* 253), qui porte deux rangées de facettes (u, t) sur les arêtes de la base, données par un décroissement en largeur d'une rangée pour la seconde et, pour l'autre, de deux rangées, et des faces s sur les angles produites par la soustraction de deux rangées en largeur. En formant les signes représentatifs de toutes ces faces d'après les données précédentes et les joignant à ceux des faces primitives, on aura : $\underset{M}{M}\underset{u}{\overset{1}{B}}\underset{t}{\overset{2}{B}}\underset{s}{\overset{2}{A}}\underset{P}{P}$.

S'il s'agissait, au contraire, de traduire la formule $\underset{M}{M}\underset{d}{\overset{2}{E}}\underset{l}{\overset{4}{E}}\underset{z}{\overset{1/2}{B}}\underset{o}{\overset{1}{A}}\underset{P}{P}$ qui appartient à la barytine cristallisée sous la forme que Haüy appelle *progressive* (*fig.* 254), on verrait d'abord que les pans M et la base P du prisme ortho-rhombique primitif se trouvent au nom-

bre des faces du cristal. Plaçant donc celui-ci de manière que les faces M fussent verticales et P, par conséquent, horizontales, les signes feraient immédiatement connaître que les faces *d* et *l* sont dues à un décroissement de deux et de quatre rangées en largeur sur les angles obtus E de la base, et que les faces *o* résultent d'un décroissement d'une rangée sur les angles aigus A. Quant aux faces *z*, elles se trouvent posées sur les arêtes basiques B et doivent naissance à un décroïssement par deux rangées en hauteur. Ainsi, la dérivation de la forme secondaire relativement à la forme primitive se trouverait entièrement connue.

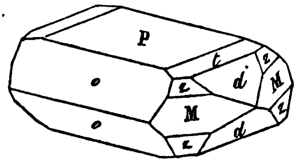


Fig. 254.

Je ferai remarquer toutefois que les formules n'indiquent rien sur les qualités accessoires du cristal, comme la hauteur réelle du prisme et l'étendue relative des faces. Ces particularités ne peuvent être données que dans la description détaillée de l'espèce minérale dont il s'agit.

M. Dufrénoy (*Traité de minéralogie*) a employé les formules de Haüy dans ses descriptions d'espèces, mais avec une simplification qui consiste à remplacer la lettre indicative du côté ou de l'angle sur lequel naît la face secondaire par la petite lettre correspondante qu'il affecte du chiffre du décroissement placé comme un exposant. Ces signes, qui ont le mérite d'être très-courts, lui servent, en même temps, pour les faces de ses figures. Cependant il se contente de noter par la lettre *i* ou *i′* celles de ces faces qui résultent d'un décroissemeut intermédiaire, réservant, dans ce cas, la formule pour le texte descriptif. Cette dernière formule diffère, au reste, un peu de celle de Haüy. Elle consiste en trois notations qui ne sont autre chose que les signes indicatifs des arêtes de l'angle dont il s'agit, affectées chacune d'un chiffre qui indique la distance à laquelle la face vient la rencontrer. Nous admettrons le mode de notation de Haüy, ainsi simplifié, dans nos descriptions d'espèces ; nous ne pensons pas qu'il y ait un grand avantage à en charger les figures, pour lesquelles nous nous servirons tout simplement de petites lettres, qui seront celles de Haüy autant que possible.

RELATIONS ENTRE LA SUBSTANCE ET LA FORME ;

PSEUDOMORPHOSES.

On peut admettre comme une loi naturelle le principe suivant : *à une substance déterminée et définie correspond une forme primitive également déterminée et définie,* de manière que l'identité ou la différence de substance entraîne identité ou différence de forme et réciproquement.

Cette loi, qui ressort des nombreux travaux de Haüy, offre cependant deux exceptions qui sont trop importantes, au point de vue de la philosophie minéralogique, pour qu'il ne soit pas indispensable de les faire connaître et de les apprécier. Ces exceptions constituent deux ordres de faits que l'on désigne, d'une manière générale, par les noms d'*isomorphie* et d'*isomérie.* Nous les étudierons successivement dans ce chapitre, qui sera terminé par des notions sur certaines formes régulières, accidentelles ou empruntées, que l'on désigne spécialement par le nom de *pseudomorphoses.*

ISOMORPHIE.

Ce nom, dérivé des mots grecs ἴσος, *égal,* μορφή, *forme,* ne devrait être employé que pour les corps exceptionnels qui, avec une forme identique, sont néanmoins composés d'une substance différente. Du temps de Haüy, on n'admettait cette exception que pour les minéraux dont les cristaux dépendent du groupe régulier. Ainsi, la galène et le sel marin ont pour forme primitive un cube, tandis que l'octaèdre régulier est la forme fondamentale du diamant, de la fluorine et de l'aimant, et cependant les minéraux composant l'une ou l'autre de ces deux catégories sont extrêmement différents, non-seulement sous le rapport de la substance, mais encore eu égard à l'ensemble des propriétés physiques. C'est là une isomorphie bien prononcée, et c'est encore la seule qui mérite rigoureusement ce nom, ainsi que nous le verrons plus loin. Haüy cherchait à expliquer cette anomalie en considérant les solides réguliers dont il s'agit comme des limites vers lesquelles venaient converger des formes très-différentes. En effet, le cube peut être regardé comme la limite d'un prisme carré ou rectangu-

laire, d'un prisme rhomboïdal ou encore d'un rhomboèdre, et l'octaèdre régulier n'est qu'un cas particulier des octaèdres carré, rhombique ou rectangulaire; d'où il résulterait que les minéraux que nous avons donnés comme exemples pourraient fort bien se trouver à la limite de systèmes cristallins différents, quoique présentant effectivement la même forme.

Les cas dont il nous reste à parler, lesquels se rapportent à l'*isomorphie* proprement dite, telle qu'elle a été établie par les recherches de M. Mitscherlich, constituent un tout autre ordre de choses. Nous en avons déjà donné une idée dans nos généralités chimiques, page 32; nous croyons, toutefois, qu'il ne sera pas inutile d'y revenir encore ici avec un peu plus de développement.

Si l'on compare entre elles les espèces composant un genre donné de sels ou d'haloïdes, on remarque que, pour une même composition atomique, les formes primitives sont, dans un grand nombre de cas, également du même genre, et, de plus, qu'elles ne diffèrent spécifiquement que d'un petit nombre de degrés. Cette analogie est surtout très-sensible dans le genre carbonate dont nous réunissons ici les espèces naturelles qui offrent cette propriété au plus haut degré :

CARBONATES NATURELS ISOMORPHES.

ESPÈCES.	FORMULES.	FORMES PRIMITIVES.
Calcaire.	$\dot{Ca}\ \ddot{C}$	rhomboèdre de 105°
Giobertite.	$\dot{Mg}\ \ddot{C}$	— 107° 25′
Sidérose.	$\dot{Fe}\ \ddot{C}$	— 107°
Diallogite.	$\dot{Mn}\ \ddot{C}$	— 103°
Smithsonite.	$\dot{Z}\ \ddot{C}$	— 107° 40′

Ce sont ces espèces de formes analogues que M. Mitscherlich appelle isomorphes, quoiqu'elles diffèrent toutes d'une petite quantité, il est vrai, mais toutefois d'une manière constante. Maintenant, ce savant suppose que les bases de ces carbonates prendraient elles-mêmes, en cristallisant, des formes peu différen-

tes; il les considère donc comme devant aussi être isomorphes.

Cette supposition d'isomorphie a été étendue à toutes les bases de composition atomique semblables. Elle semble se vérifier dans quelques cas d'une manière assez remarquable. Ainsi, le peroxyde de fer et l'alumine ont la même formule atomique, puisqu'ils renferment, l'un et l'autre, deux atomes de base et trois atomes d'oxygène. Or, ces substances se trouvent à l'état cristallin dans la nature et constituent l'oligiste dont la forme primitive est un rhomboèdre de 86° 10′, et le corindon, qui a pour forme fondamentale un rhomboèdre de 86° 4′, presque identique au premier.

Il y a aussi des corps minéralisateurs que l'on considère comme isomorphes : tels sont le soufre et le sélénium, l'acide arsénique et l'acide phosphorique.

Cette remarque est certainement très-importante, et l'on en a déjà tiré, comme nous allons le voir, un assez grand parti; mais il s'en faut de beaucoup, suivant nous, qu'elle mérite de passer au nombre des lois générales, et ce serait aller trop loin que de dire avec Berzélius (*Traité de chimie,* 1838, t. II, p. 243), « *on pourra bientôt admettre qu'un même nombre d'atomes, assemblés de la même manière, produit la même forme cristalline, quelle que soit la différence des éléments.* » Si cette loi était exactement vraie, tous les corps simples devraient avoir la même forme. On connaît, d'ailleurs, plusieurs de ces corps, comme le soufre et l'arsenic, qui, ayant une forme très-différente, se remplacent néanmoins dans certains composés (arsénio-sulfures), qui constituent chimiquement des minéraux naturels. Je pourrais aussi citer des oxydes qui offrent le même genre d'anomalie, comme les sesquioxydes de fer et de manganèse. Il existe même des corps que l'on est amené à reconnaître comme équivalents dans les formules, bien qu'ils diffèrent à la fois par leur forme et par leur constitution atomique. Dans ce cas, se trouve l'alumine et la silice.

L'isomorphie de M. Mitscherlich, qui n'est réellement qu'une *plésiomorphie* (πλησίος, *voisin*, μορφή, *forme*), en supposant même qu'elle ait toute la valeur qu'on a voulu lui attribuer, ne constituerait pas une exception, comme l'isomorphie absolue, à la loi que nous avons posée en commençant. On pourrait même dire que cette loi s'applique, dans ce cas, avec une précision exceptionnelle; car, dans les minéraux plésiomorphes, on voit la forme varier très-peu, justement lorsque les substances sont très-analogues; ici, par

conséquent, les caractères minéralogiques correspondent, d'une manière toute particulière, à la composition chimique. Il y a donc lieu de s'étonner que des minéralogistes aient pu voir dans cette harmonie une objection contre le principe de correspondance établi par Haüy.

Les corps analogues sous le rapport de la substance et de la forme, qu'on appelle isomorphes, ont la propriété de pouvoir se remplacer mutuellement dans les combinaisons sans altérer les relations atomiques. C'est ainsi que le calcaire est fréquemment mélangé, d'une manière intime, des substances qui constituent la giobertite, la sidérose, la diallogite, et que la sidérose contient fréquemment du carbonate de chaux. Ces substitutions se font même quelquefois en proportions définies, comme il arrive dans la dolomie, où il entre exactement un atome de carbonate de chaux et un atome de carbonate de magnésie. Dans tous les cas, l'influence de ces combinaisons se fait sentir sur l'angle de la forme primitive, dont les variations peuvent même indiquer, jusqu'à un certain point, la quantité relative des corps isomorphes mélangés.

Cette propriété des corps, et principalement des bases isomorphes, a donné le moyen de comprendre sous des formules générales des minéraux qui auraient pu être regardés comme très-différents sous le rapport chimique, tandis que toutes les autres propriétés tendaient à les réunir. Tels sont les grenats, les amphiboles, les tourmalines, grandes et belles espèces très-naturelles que les chimistes auraient certainement démembrées sans la résistance des minéralogistes, qui a fini par amener la découverte de l'expédient qu'on appelle *isomorphie*.

Ainsi, les analyses du grenat vert (grossulaire) conduisent à la formule. . . . . $\dddot{Al}\,\dddot{Si} + \dot{Ca}^3\,\dddot{Si}$

Celle du grenat rouge (almandin), à. . . . $\dddot{Al}\,\dddot{Si} + \dot{Fe}^3\,\dddot{Si}$

Celle du grenat noir (mélanite), à. . . . . $\dddot{Fe}\,\dddot{Si} + \dot{Ca}^3\,\dddot{Si}$

Celle du grenat brun (spessartine), à. . . $\dddot{Al}\,\dddot{Si} + \dot{Mn}^3\,\dddot{Si}$

On voit que, dans ces formules, il y a deux sortes de bases, savoir : des bases à trois atomes d'oxygène, qui sont l'alumine et le peroxyde de fer, et des bases à un atome, qui sont la chaux et les protoxydes de fer et de manganèse; de sorte qu'en désignant par R le radical des premières qui sont isomorphes entre elles, et par *r* celui des bases censées isomorphes à un atome d'oxygène, on

peut exprimer la composition atomique de tous les grenats par la formule générale :

$$\ddot{R}\,\ddot{Si} + \dot{r}^3\,\ddot{Si}, \quad \text{ou} \quad \left.\begin{array}{r}\ddot{Al}\\ \ddot{Fe}\end{array}\right|\ddot{Si} + \left.\begin{array}{l}\dot{Ca}^3\\ \dot{Fe}^3\\ \dot{Mg}^3\end{array}\right|\ddot{Si}$$

De même les amphiboles seraient représentées chimiquement de cette manière.

$$\dot{R}^3\,\ddot{Si}^2 + \dot{r}\,\ddot{Si}, \quad \text{ou} \quad \left.\begin{array}{r}\dot{Mg}^3\\ \dot{Fe}^3\end{array}\right|\ddot{Si}^2 + \dot{Ca}\,\ddot{Si}.$$

Nous pouvons résumer tout ce que nous venons de dire sur les corps isomorphes dans les deux énoncés suivants :

1° Les minéraux dont les cristaux appartiennent au groupe régulier peuvent être *isomorphes* dans toute la force du terme, c'est-à-dire qu'ils sont susceptibles d'offrir la même forme primitive, quoique ayant une substance essentiellement différente.

2° Il arrive assez fréquemment que les corps de même constitution atomique, n'appartenant pas au système régulier, ont des formes primitives de même genre et dont les angles ne diffèrent que d'un petit nombre de degrés ; ces corps, qu'on a appelés spécialement *isomorphes* et auxquels le nom de *plésiomorphes* ou même simplement d'*analogues* conviendrait mieux, jouissent de la propriété de pouvoir se substituer les uns aux autres dans les combinaisons, sans altérer la constitution des formules atomiques et sans produire sur la forme d'autre modification qu'une légère variation dans ses angles dièdres.

ISOMÉRIE.

Nous croyons utile de généraliser plus qu'on ne le fait ordinairement le mot *isomérie* (de ἰσομερής, composé de parties égales), en l'employant pour représenter une propriété inverse de l'isomorphie, en vertu de laquelle des corps de forme ou de propriétés différentes peuvent, néanmoins, offrir la même substance. La nature ne présente qu'un petit nombre d'espèces dans ce genre d'exceptions à la loi générale qui veut qu'il y ait accord entre la forme et la substance, et, dans l'état actuel de la science, on ne con-

naît que quelques minéraux cristallisés pour lesquels cette anomalie soit incontestable. Nous avons rassemblé les principaux dans le petit tableau suivant :

TABLEAU DES PRINCIPALES ESPÈCES CRISTALLISÉES ISOMÈRES (1).

NOMS DES MINÉRAUX.	FORMES PRIMITIVES.	FORMULES CHIMIQUES.
Calcaire.	Rhomboèdre de 105°.	$\dot{Ca}\,\ddot{C}$
Aragonite.	Prisme ortho-rhombique de 106° 5′. . .	
Oligiste.	Rhomboèdre de 86° 10′.	$\dddot{Fe}$
Martite.	Octaèdre régulier.	
Pyrite.	Dodécaèdre pentagonal (pyritoèdre). . .	$Fe\,S^2$
Sperkise.	Prisme ortho-rhombique de 106° 2′. . .	
Exitèle.	Prisme ortho-rhombique de 137°.	$\dddot{Sb}$
Sénarmonite. . .	Octaèdre régulier.	
Rutile.	Prisme carré.	$\ddot{Ti}$
Anatase.	Octaèdre carré aigu.	
Brookite.	Prisme ortho-rhombique de 121° 39′. . .	
Graphite.	Prisme hexagonal régulier.	C
Diamant.	Octaèdre régulier.	

Lorsque l'on ne considère cette propriété que relativement à la forme, on a coutume de la désigner par le nom de *dimorphie*, qui veut dire simplement que le même corps, considéré chimiquement, est susceptible de prendre, sous l'empire de certaines circonstances, deux formes primitives différentes. Le nom d'*isomérie*, pris dans l'acception que nous avons admise, est plus général en ce qu'il exprime une identité de composition, soit pour des minéraux ayant des formes primitives différentes, soit pour des corps non cristallisés qui diffèrent par un certain nombre d'autres propriétés. C'est ainsi que le diamant et l'anthracite sont des corps isomères ou isomériques, à cause de leurs propriétés physiques qui sont presque toutes opposées; l'autre expression ne peut être employée dans

(1) Nous n'avons admis dans ce tableau que celles qu'offre immédiatement la nature.

ce cas, puisque l'anthracite ne cristallise pas (1). Il est bien remarquable que les corps isomères diffèrent non-seulement sous le rapport des propriétés physiques, mais encore, dans certains cas, relativement aux propriétés chimiques elles-mêmes (2).

Plusieurs expériences ont été faites pour essayer de faire cristalliser un même corps de deux manières différentes. La plus célèbre est celle exécutée sur le soufre par M. Mitscherlich. Ce chimiste, ayant fait évaporer du sulfure de carbone qui tenait ce corps en dissolution, a obtenu des cristaux octaèdres à base rhombe, comme ceux que l'on trouve dans la nature; et en employant la fusion et la décantation, les cristaux lui ont présenté la forme de prismes qui ne pouvaient être rapportés qu'au système unoblique. Ces derniers n'ont pas encore été rencontrés dans la nature; c'est pourquoi nous n'avons pas compris le soufre dans notre petit tableau des minéraux isomères.

M. Beudant, de son côté, s'est exercé sur les sels et est arrivé à quelques résultats remarquables. Ainsi, il est parvenu à faire cristalliser le nitre en rhomboèdres, au milieu d'une dissolution de nitrate de soude, tandis que ce sel présente ordinairement des formes dépendant du système ortho-rhombique; et le sulfate de fer qui appartient, dans l'état normal, au système unoblique, lui a présenté des octaèdres réguliers dans une solution qui renfermait à la fois beaucoup d'alun et de sulfate de magnésie. En général, lorsqu'il faisait dissoudre, dans un liquide déjà saturé par un autre sel, un nouveau sel moins cristallisable, ce dernier se déposait bientôt en cristaux ayant la forme du premier sel. Il est très-probable, dans ce cas, que celui-ci entrait pour une quantité notable dans les cristaux formés, et que c'est lui qui déterminait la forme, à peu près comme une petite quantité de calcaire a suffi pour disposer en rhomboèdres très-réguliers le sable de la forêt de Fontainebleau. Mais il faut bien remarquer que toutes ces cristallisations forcées tombent en poussière au bout de peu de temps,

(1) Cette généralisation du mot *isomère* nous dispensera d'employer le mot *allothropique* créé par Berzélius pour les corps non cristallisés qui, avec une même composition chimique, se distinguent par leurs propriétés physiques.

(2) On sait que le cas d'isomérie est habituel en chimie organique. Il semble que la nature ait voulu suppléer par ce moyen au petit nombre de substances qu'elle admet dans la composition des animaux et des végétaux.

comme par une tendance des particules à se désagréger pour se grouper suivant la loi si généralement accusée dans l'ensemble de l'œuvre de la nature et dont elle ne s'écarte que par l'influence d'une tendance opposée accidentellement prédominante. L'aragonite même se réduit en poudre également lorsqu'on l'expose à l'action du feu.

Que l'on considère les corps qui présentent cette anomalie comme isomères ou dimorphes, il faut reconnaître que là où la forme fondamentale change, les propriétés physiques, et même souvent les propriétés chimiques, éprouvent un changement correspondant; de telle manière que, malgré l'identité de substance, on est obligé d'admettre des corps différents. On arrive donc à ce résultat, que deux minéraux peuvent être fort distincts quoique ayant la même composition chimique. On a voulu expliquer cet état de choses par des différences dans le nombre et dans l'arrangement des atomes. Nous ferons remarquer qu'il s'accorde très-bien avec l'hypothèse des deux ordres de molécules exprimée dans les prénotions, page 5. En effet, il n'y a rien d'impossible dans la supposition que les mêmes molécules physiques puissent se grouper de deux manières en produisant deux molécules cristallines différentes.

En se plaçant au point de vue de l'histoire naturelle, la considération du dimorphisme s'efface pour laisser régner l'isomérie, puisque, dans l'ordre des idées du naturaliste, les propriétés physiques doivent marcher en première ligne. Ainsi, il est rationnel de dire, en minéralogie, que le calcaire et l'aragonite, que l'on doit y considérer comme des corps essentiellement différents, sont isomères, c'est-à-dire composés des mêmes principes combinés en mêmes proportions; tandis que le chimiste dirait que ces deux corps résultent d'un dimorphisme du carbonate de chaux qui est et doit être l'objet principal de sa sollicitude.

De tout ce que nous venons de dire sur l'isomérie et le dimorphisme, ce qui intéresse directement la minéralogie peut se réduire à ceci : qu'il existe dans la nature un certain nombre, jusqu'à présent très-petit, de minéraux très-distincts qui, ayant une forme essentiellement différente, présentent néanmoins la même substance. Dans ces minéraux, que l'on nomme *isomères* ou *isomériques*, la différence de forme entraîne des différences correspondantes dans l'ensemble des propriétés, et, dans certains cas, où l'on ignore la forme de l'un des minéraux isomères, ces dernières

différences peuvent remplacer celle des formes qu'elles semblent d'ailleurs indiquer.

CRISTAUX PSEUDOMORPHIQUES.

Les formes cristallines auxquelles on applique ce nom, qui signifie *forme fausse, forme trompeuse* (ψευδής, *faux*, μορφή, *forme*), n'appartiennent pas en propre à la substance qui en est revêtue, mais bien à une autre substance à laquelle celle-ci est venue se substituer.

Cette substitution a pu se faire par *épigénie*, par *moulage* ou encore par *agglutination*.

Epigénies. — On désigne par le mot *épigénie,* qui veut dire *engendré sur,* une sorte particulière de pseudomorphose en vertu de laquelle une substance vient successivement, graduellement, et molécule à molécule, en remplacer une autre dont elle emprunte la forme. C'est ainsi que, dans la pyrite, le sulfure de fer qui compose ce minéral se convertit fréquemment en limonite, substance qui remplace souvent aussi le carbonate de fer, base essentielle de la sidérose. La transformation du phosphate de plomb en sulfure de plomb dans la pyromorphite de Bretagne, celle du sulfate de chaux en sulfate hydraté dans l'anhydrite de Pezey, celle du sulfate de chaux hydraté en silice dans le gypse lenticulaire de Passy, sont des exemples bien connus où la substitution d'une matière à une autre, sans qu'il y ait changement de forme, ne saurait être révoquée en doute.

Cette sorte particulière d'isomorphie ne laisse pas d'introduire une certaine incertitude dans la spécification et le classement ; car ici ce changement de substance se produit après coup sur un individu donné, et, à la rigueur même, il pourrait s'effectuer dans une collection où le minéral aurait d'abord été placé avec ses propriétés chimiques primitives (1). Qu'est-ce qui doit l'emporter, dans ce cas, de la substance ou de la forme? Question embarrassante! Car, si l'on donne la préférence à la substance, d'après la considération que la forme n'est alors qu'empruntée, pour ainsi dire,

(1) Dans ces épigénies, en général, la structure est plus grossière, plus grenue que dans le minéral dont la substance s'est substituée ; les clivages sont nuls ou bien se confon-

on sera obligé d'admettre successivement deux espèces dans le même individu, ce qui est contraire aux principes fondamentaux de l'histoire naturelle. Si l'on préfère la forme, au contraire, on aura, dans une même espèce, des individus de composition différente; c'est encore une anomalie.

Cristaux pseudomorphiques par moulage. — Il ne faut pas confondre les cristaux de cette catégorie avec les cristaux épigènes : ceux-ci résultent d'une substitution graduelle et moléculaire, pour ainsi dire, tandis que ceux dont nous nous occupons en ce moment ont été formés par le remplissage d'une cavité régulière laissée dans une gangue, le minéral qui l'occupait primitivement ayant disparu par décomposition (silex ou hornstein moulé avec les formes du calcaire, stéatite avec celles du quartz hyalin...). Le moulage peut encore se faire sur des cristaux en relief. Dans le cas où ces cristaux viennent à se décomposer ensuite et à disparaître, ils laissent une cavité régulière dans la masse minérale adventive. Lorsque celle-ci ne forme qu'un mince revêtement sur la première, la pseudomorphose offre l'aspect d'une croûte cristalline régulière (quartz hyalin à cavités cubiques laissées par la fluorine; dolomie et sidérose moulées sur différentes formes étrangères à ces espèces).

Les cristaux moulés accusent, par leur forme, la nature du minéral qui a disparu; mais on n'y trouve jamais de traces de ses clivages.

— par agglutination. — Lorsqu'une dissolution vient imbiber une matière meuble, comme du sable, par exemple, il peut arriver qu'en cristallisant, le minéral dissout entraîne avec lui une certaine quantité de celui qui lui donne asile; quelquefois même la tendance à cristalliser de la substance qui s'infiltre est telle qu'elle se consolide en cristaux réguliers, malgré la grande quantité de matière étrangère entraînée. Tel est le minéral connu sous le nom de grès cristallisé de Fontainebleau, lequel n'est au-

---

dent avec ceux des cristaux qui ont subi la substitution. Ainsi, dans le gypse épigénique qui affecte la forme de l'anhydrite, on observe des indices du clivage rectangulaire de ce dernier minéral. Ces caractères, joints à un affaiblissement de la densité, suffiraient souvent pour faire reconnaître les épigénies si la forme cristalline ne parlait pas assez clairement.

tre chose que du sable siliceux agglutiné par du carbonate de chaux qui provient probablement de la dissolution du calcaire superposé aux sables tertiaires de la forêt de Fontainebleau. Ces cristaux, d'une netteté remarquable, offrent exactement la forme du rhomboèdre inverse propre au minéral agglutinant, bien que le sable qu'ils contiennent constitue quelquefois jusqu'à 0,8 de leur poids. Je citerai encore la fluorine cubique de Buxton en Derbyshire, qui donne à l'analyse de 40 à 50 pour 100 d'argile.

CONFIGURATIONS ET STRUCTURES

NON GÉOMÉTRIQUES.

En produisant les formes oblitérées, la nature a dû subir l'influence de circonstances accessoires ou secondaires assez puissantes déjà pour modifier très-sensiblement l'acte de la cristallisation. Toutefois, cette dernière force était restée prédominante ou, du moins, avait laissé sur les individus minéralogiques des traces très-marquées de son action. Dans les formes qui font l'objet de ce chapitre, ces traces ne se manifestent plus que très-faiblement, et ce sont décidément les causes particulières ou perturbatrices qui l'emportent. De là résulte une série de configurations et de structures variées, dont plusieurs sont très-fréquentes dans la nature et dont il est indispensable de s'occuper. Pour rendre leur étude plus susceptible d'intérêt, nous rapporterons, autant que possible, chacune d'elles à la cause qui est censée l'avoir produite ou déterminée.

Toutes ces configurations et structures n'ont pas la même importance, et il serait peu rationnel de les confondre dans un seul et même groupe.

Les plus constantes et les plus générales sont, parmi les configurations, les *concrétions*, dont il serait difficile de séparer les *incrustations*, qui, toutefois, ont bien moins d'importance, et, parmi les structures, celles que nous désignerons par l'épithète de *commune*. Celles-ci ont un intérêt pratique de premier ordre, et le

minéralogiste, de même que le géologue, trouvent, à chaque instant, l'occasion de les apprécier.

Les autres configurations et structures ne se présentent que dans des circonstances exceptionnelles et n'offrent guère qu'un intérêt de curiosité. Nous en ferons, sous le nom d'*accidentelles*, une catégorie à part dont nous nous occuperons après avoir étudié celles que nous avons mentionnées en premier lieu.

Nous terminerons ce chapitre par des notions sur la *cassure*.

CONCRÉTIONS.

Le mot *concrétion* exprime l'état d'un corps qui se trouvait dissous ou disséminé à l'état moléculaire dans un liquide ou dans un milieu peu résistant, ou même dans le calorique, et dont les molécules se seraient assemblées et concentrées autour d'un point ou d'une droite centrale, de manière à former un solide affectant, à l'extérieur, une forme arrondie, et fréquemment, à l'intérieur, une texture radiée et en même temps une structure concentrique.

L'état concrétionné est intermédiaire entre l'état de cristal et l'état amorphe : c'est le plus parfait que puisse prendre un minéral après celui qui ne peut être donné que par la cristallisation. Il entraîne avec lui les caractères minéralogiques essentiels et, jusqu'à un certain point, la pureté de la substance.

Les configurations arrondies qui caractérisent les concrétions sont le seul ordre de formes que soient susceptibles de prendre les substances dans lesquelles les molécules physiques n'ont pas encore été groupées par la cristallisation (silex, opale). Toutefois, ces formes arrondies peuvent être constituées par des molécules cristallines. Le concrétionnement s'exerce même assez souvent sur des éléments imparfaitement cristallisés, et donne naissance, dans ce cas, à des espèces de groupements à surfaces courbes. Dans cette dernière catégorie se trouvent beaucoup de minéraux concrétionnés fibreux à disposition radiée (pyrite réniforme, stalactites calcaires cristallines...).

Les concrétions, comme la plupart des cristaux, ont été formées, en général, sous l'influence de l'eau, fréquemment avec le concours de l'action thermo-minérale et des affinités électives. Il en existe cependant qui paraissent devoir être attribuées au feu. Nous avons établi, pour les premières, quatre groupes

basés sur la configuration et sur le mode de formation. Quant aux concrétions ignées, nous aurions pu les répartir, à titre d'appendice, dans les divisions précédentes, auxquelles elles seraient susceptibles d'être rapportées eu égard à la similitude de la forme; mais nous avons pensé qu'il était préférable de les grouper toutes ensemble dans un article à part. Dès lors toutes les concrétions se trouvent divisées en cinq catégories, savoir :

Concrétions coralloïdes ;
Stalactites ;
Pisolites et oolites ;
Concrétions intestines ;
(Rognons ; Tophus turbinatus) ;

Concrétions ignées.

Concrétions coralloïdes. — La configuration concrétionnée qu'on désigne par l'épithète de *coralloïde* est produite par des cristaux capillaires qui se forment et se réunissent plus ou moins obliquement autour d'une ligne qui leur sert d'axe, de manière à produire une branche à section circulaire, laquelle, en s'anastomosant, donne naissance à de nombreux rameaux qui se courbent et s'entrelacent même comme le font certains coraux. Lorsque les éléments cristallins ne sont pas trop fins ni trop serrés, on les voit diverger à la cassure et se terminer, à la surface du rameau, en pointes cristallines très-aiguës. Dans le cas contraire, à peine si la texture intérieure est fibreuse, et la surface est mate. Cette configuration, dont le type est offert par l'aragonite (*flos ferri*) qui se trouve au chapeau de certaines mines de fer (Styrie, Pyrénées-Orientales), peut être regardée comme intermédiaire entre les dendrites et les stalactites.

Stalactites. — Les *stalactites* (de Σταλάζω, *je tombe goutte à goutte*) sont généralement le résultat de la stillation d'un liquide chargé d'une substance qu'il laisse déposer, à l'état cristallin ou à l'état compacte, avec adhérence d'un point ou d'une partie de sa surface et influence de la pesanteur. Dans la plupart des cas, le liquide est de l'eau et la substance est du carbonate de chaux emprunté à une masse calcaire à travers laquelle l'eau vient suinter. Voici comment se forment ces stalactites calcaires :

Après avoir circulé dans les interstices de la roche, l'eau calcarifère arrive enfin à la paroi d'une cavité, comme, par exemple, à la voûte d'une grotte. Là, l'évaporation de l'eau et le départ d'un peu d'acide carbonique qu'elle tenait en dissolution déterminent le dépôt d'un petit anneau de calcaire qui s'accroît ensuite par l'addition d'une nouvelle quantité de matière, dans le sens de l'épaisseur, et surtout en longueur, dans la direction verticale que tend à lui faire prendre l'action de la pesanteur. De là un cône irrégulier pendant à la voûte, plein ou creux, suivant que la dissolution a pu ou non pénétrer dans l'intérieur. On conçoit d'ailleurs que la stalactite se trouve, en général, plus renflée vers le point d'attache où le liquide doit déposer une matière plus abondante que dans les parties plus rapprochées de l'extrémité libre. Cette surabondance du calcaire à la voûte autour du point d'attache dépend, au reste, d'une autre cause : c'est l'attraction de la roche humide pour les gouttes d'eau, en vertu de laquelle elles viennent couler, en partie, le long de sa paroi et y déposer des concrétions qui finissent par joindre les bases de toutes les stalactites et donner ainsi naissance à un plafond pierreux hérissé de pointes. Les choses étant arrivées à ce point, le liquide ne suinte plus aussi librement de la voûte, et il arrive un moment où la majeure partie vient se répandre tout autour sur les parois latérales, où il produit des espèces de congélations dont l'assemblage imite assez une draperie à plis ondoyants (*stalactites panniformes*).

En tombant de la voûte ou des parois latérales, l'eau calcarifère a perdu ordinairement la plus grande partie de la substance qu'elle tenait en solution ; toutefois, dans la plupart des cas, il lui en reste encore assez pour produire, sur le sol des grottes, un nouveau dépôt, qui s'épaissit de plus en plus au point de former, au bout d'un certain temps, un plancher solide portant des cônes surbaissés qui correspondent aux cônes allongés de la voûte. Il arrive même assez souvent que ces deux sortes de cônes se joignent par leurs sommets de manière à donner naissance à des colonnes qui semblent soutenir la voûte et qui contribuent singulièrement au pittoresque de ces galeries souterraines. Les dépôts qui recouvrent le sol des grottes ont reçu particulièrement le nom de *stalagmites*. Dans ces derniers temps, ils ont attiré spécialement l'attention des géologues, à cause des ossements d'animaux diluviens qui gisent fréquemment par-dessous.

Ces diverses formes et circonstances se trouvent rassemblées dans la figure suivante, qui représente la salle d'entrée de la célèbre caverne de Gayrenleuth, en Franconie.

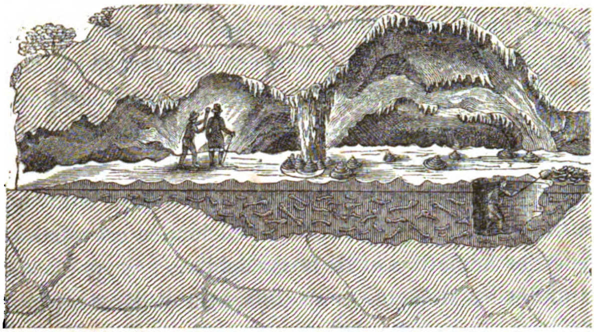


Fig. 255.

Les stalactites et les stalagmites, outre les formes principales que nous venons d'indiquer et d'autres encore qui résultent de combinaisons plus ou moins bizarres de celles-ci, présentent une foule de configurations accessoires, comme celles, par exemple, que l'on appelle *tuberculeuses* et que l'on a comparées à des choux-fleurs ; nous citerons encore particulièrement la disposition en crêtes saillantes ondulées qu'affectent souvent les stalagmites.

Les concrétions qui font l'objet de ce paragraphe ont ordinairement une texture plus ou moins cristalline, et l'on y remarque quelquefois la disposition à la fois radiée et concentrique ; dans certains cas aussi, l'état cristallin est assez prononcé pour déterminer une cassure spathique ; certaines stalactites offrent même, à leur extrémité, des cristaux déterminables. On doit donc admettre que les molécules qui constituent ces concrétions étaient à l'état cristallin. Il existe cependant des stalactites compactes ou terreuses formées par des molécules chaotiques. Celles que l'on peut recueillir à la voûte de l'ancien aqueduc de Maintenon (Eure-et-Loir) sont dans ce dernier cas. Les couches successives dont ces concrétions se composent se présentent sous la forme de feuillets terreux peu adhérents et d'une blancheur parfaite.

Le calcaire est le seul minéral qui offre des stalactites fréquemment et sur une grande échelle ; mais il est d'autres espèces qui se présentent également sous cette forme, telles sont : la barytine, le gypse, la calcédoine, la limonite (hématite), certains

oxydes de manganèse, la malachite. Toutefois, pour rendre compte de la formation de la plupart de ces stalactites, il faut recourir aux actions thermales. Celles de ces concrétions dont la substance est métallique se font remarquer par une texture fibreuse très-prononcée, mais d'une finesse extrême (hématite, malachite...).

Les concrétions *mamelonnées* peuvent être regardées comme des stalactites ou plutôt des stalagmites thermogènes peu développées dans le sens de la hauteur. La calcédoine est habituellement concrétionnée de cette manière ; quelquefois elle se présente en mamelons isolés et déprimés qui rappellent la forme d'une goutte de suif (*guttulaire*). La configuration mamelonnée est aussi la forme habituelle des hématites et de la malachite.

Dans toutes les stalagmites ou stalactites et dans les concrétions mamelonnées, il y a un point ou une surface d'attache, et c'est le liquide lapidescent ou métallifère qui vient y apporter la matière de la concrétion.

Pisolites, oolites. — Ces concrétions se distinguent des précédentes par l'absence de tout point d'attache. Elles se forment au milieu d'eaux minérales agitées, riches en acide carbonique, à la faveur duquel la matière de la concrétion, qui est ordinairement du carbonate de chaux, de l'oxyde ou du carbonate de fer, est tenue en dissolution.

Ce sont de petits corps globuleux dont la grosseur varie entre celle d'un grain de millet et celle d'une noisette. Ils offrent ordinairement une structure concentrique, le centre étant constitué soit par un grain de sable, soit par une parcelle de la matière même qui tend à se concrétionner. La théorie de leur formation est d'ailleurs très-simple. Supposons qu'il s'agisse des pisolites calcaires, qui sont de beaucoup les plus fréquentes. Par suite de l'agitation du liquide calcarifère et aussi par l'évaporation, une certaine quantité d'acide carbonique ou de vapeur se dégage, une quantité correspondante de calcaire devient libre, se porte autour des centres qui lui sont offerts par les particules que nous venons de mentionner, et forme une première couche qui se trouve bientôt recouverte par une deuxième; celle-ci reçoit, à son tour, une troisième enveloppe, à laquelle succède une quatrième, et ainsi de suite. Pendant la formation de ces concrétions, elles ont pu rester suspendues dans le liquide d'une manière intermittente, quelquefois même

continue, et s'accroître, par conséquent, dans tous les sens; mais, à une certaine période de leur accroissement, le poids qu'elles ont acquis les détermine à rester sur le sol, où elles sont fréquemment agrégées et cimentées par une espèce de dépôt stalagmitique produit par les mêmes eaux où elles avaient pris naissance.

Les eaux acidules de Vichy (Allier), celles de Carlsbad (Bohême), de Tivoli, près Rome, et d'un grand nombre d'autres lieux, produisent, journellement et en abondance, des concrétions calcaires de cette nature. Celles de la dernière localité citée sont connues sous le nom de *dragées de Tivoli*, qu'elles doivent à leur forme et à leur blancheur.

Serait-ce dans des circonstances semblables qu'auraient été formés les calcaires appelés *oolitiques* et *pisolitiques*, parce qu'ils sont presque entièrement composés d'oolites ou de pisolites? Il est permis d'en douter, lorsqu'on se rappelle que ces calcaires constituent des couches et même des assises entières dans la formation jurassique appelée *oolitique* en Angleterre par ce seul motif. On a émis, à l'égard de cette question, plusieurs hypothèses qui ne nous paraissent pas assez probables pour être rapportées. La même difficulté se présente pour les amas de minerai de fer oolitique qu'on exploite en Bourgogne et en Franche-Comté.

Les concrétions de cette dernière catégorie ont, en général, une texture compacte et il est naturel de penser qu'elles sont constituées par des molécules physiques.

Concrétions intestines. — Les corps concrétionnés que nous appelons ainsi n'ont pas été formés par un liquide qui en contenait et en déposait la substance, mais bien sous l'influence d'un mouvement intestin, résultat de l'affinité de soi pour soi, qui se produisait au sein d'une masse pâteuse ou faiblement résistante, au milieu de laquelle la matière se trouvait interposée à l'état moléculaire.

Rognons. — Les rognons sont la principale espèce dans ce genre particulier de concrétions. Le nom qui leur est attribué par tous les minéralogistes est tiré de leur forme arrondie en tous sens et de leur isolement ou dissémination dans le milieu où ils ont pris naissance. Cette forme est irrégulièrement globuleuse ou cylindroïde, avec des aplatissements, des étranglements, des rugosités superficielles et même des ramifications.

Relativement à la texture intérieure, les rognons peuvent être *cristallins* ou *compactes*.

La cristallisation a eu une assez large part dans la formation des premiers; ils offrent, en effet, à la cassure, des aiguilles rayonnantes bien prononcées, et souvent leur surface se trouve hérissée de pointes de cristaux. Ils résultent évidemment de molécules cristallines qui, partant des divers points d'un milieu argileux, crayeux et même sableux, se sont rassemblées, pour ainsi dire spontanément, en divers centres, où elles se sont agrégées en repoussant, tout autour, le milieu environnant. Il y avait là tendance à la formation de cristaux réguliers; mais, en commençant à se former, ces cristaux, se trouvant gênés et serrés les uns par les autres, ont dû s'allonger en aiguilles convergeant vers un centre ou vers une droite, et ce n'est qu'à la surface extérieure que, dans certains cas, la cristallisation a pu avoir son effet et produire quelques pointes déterminables. La pyrite, la sperkise, la barytine se présentent assez fréquemment de cette manière au milieu de couches d'argile, de marne ou de craie; nous mentionnerons à part les rognons d'azurite que l'on trouve, en même temps que de très-beaux groupes de cristaux, dans le sable argileux triasique de Chessy (Rhône). Ces concrétions, assez régulièrement sphériques, sont en effet remarquables par leur structure intérieure, qui est lamelleuse vers le centre, et par la grande proportion de sable qui entre dans la composition de leur partie extérieure.

Les rognons compactes se sont formés comme les précédents, à l'exception de l'influence cristalline. Dans la plupart des cas, on doit les considérer comme résultant d'un concrétionnement pur et simple de molécules chaotiques, au sein d'un milieu qui permettait à ces molécules de se mouvoir pour se porter les unes vers les autres et se disposer autour de points ou d'axes centraux. Tels sont les rognons ou nodules calcaires, ordinairement creux, que présentent les argiles de presque toutes les époques, les nodules de phosphate de chaux de certaines marnes, les silex à formes arrondies tuberculeuses ou rameuses de la craie. Ces concrétions diffèrent des oolites et des pisolites par leur volume, qui est plus considérable, par leur position isolée au milieu de roches terreuses, par leur texture ordinairement compacte et par les accidents de leurs formes (allongements, étranglements et même ramifications). Il est cependant des concrétions de cette caté-

gorie qui offrent des indices marqués de couches concentriques, comme, par exemple, les *pryapolites* de Castres, rognons allongés qui gisent dans les marnes tertiaires des environs de cette ville et qui offrent cette curieuse circonstance que leur axe central est remplacé par une cristallisation de calcaire pur.

Les rognons d'agate que l'on trouve au sein de certaines roches qu'on appelle amygdaloïdes peuvent être rapportés à la subdivision qui fait en ce moment l'objet de notre étude; mais il faut admettre ici que la matière siliceuse, qui est la substance de cette sorte de rognons, est venue se déverser dans une cavité préexistante et se déposer à l'intérieur par couches successives. La structure concentrique s'y manifeste souvent d'une manière très-agréable par des zones de diverses couleurs. Ces rognons sont quelquefois très-volumineux, et alors ils présentent, à l'intérieur, un espace creux ou *géode* dont les parois sont assez souvent tapissées de pointes cristallines de quartz hyalin ou même d'améthyste, offrant ainsi un changement assez brusque dans l'état moléculaire de la silice (1).

Certains rognons géodiques renferment des cristaux d'un minéral étranger (calcaire cristallisé dans des agates); d'autres contiennent du sable, de l'argile, ou même quelque corps mobile dont on reconnaît la présence par les petits chocs qu'on peut lui faire produire contre les parois de la cavité en agitant le minéral. Telle est la variété de limonite qu'on appelle *œtite* ou *pierre d'aigle*.

Nous pensons que c'est ici la place de ces petites masses imparfaitement concrétionnées et à formes extérieures confuses que l'on trouve dans certaines couches peu consistantes et qu'on peut désigner par le nom de *grumeaux*. Tel est l'état habituel du calcaire au milieu des assises argilo-sableuses et marneuses du pays toulousain et d'une partie de la Gascogne. Ces grumeaux ne sont réellement que des concrétions réniformes grossières ou des as-

(1) Il est des cas où cette substance passe, d'une manière presque insensible, de l'état chaotique à l'état cristallin. Rien n'est si curieux, sous ce rapport, que les exsudations siliceuses si connues des wackes bitumineuses de Pont-du-Château, près Clermont, où l'on voit la calcédoine guttulaire passer au cristal de roche par des cristaux ébauchés et disposés autour d'un centre comme les pétales d'une fleur.

La même circonstance se présente d'une manière également très-marquée dans les gouttes ou boutons de calcédoine que l'on trouve près Le Propiary (Haute-Garonne), au sein de calcaires qui dépendent de la formation crétacée.

semblages de rognons ébauchés par affinité de parties similaires au sein d'un milieu peu résistant dont elles ne se séparent que d'une manière incomplète.

Tophus turbinatus. — Les singulières configurations concrétionnées que les Anglais ont appelées *cone in cone* et qui avaient été signalées anciennement par le grand Linné sous le nom de *Tophus turbinatus*, ne se trouvent pas dispersées, comme les rognons, au milieu d'une matrice générale; mais elles s'étendent suivant un plan parallèle à la stratification, vers la surface de joint de deux couches, dans certains calcaires plus ou moins argileux notamment dans le calcaire carbonifère du Staffordshire. Leur forme est aussi toute particulière, et il serait difficile d'en donner une idée par une courte description. Ce sont des assemblages de cônes se tenant par base et qui forment deux systèmes dont l'un semble dépendre de la couche supérieure et l'autre de la couche inférieure. Les groupes de cônes de la première catégorie sont renversés et s'emboîtent avec les cônes droits inférieurs ; et lorsqu'on parvient à séparer ces deux systèmes, chacun offre l'aspect d'un plan de montagnes en relief.

Concrétions ignées. — Certaines roches, formées sous l'influence du feu, renferment aussi des rognons cristallins ou à texture compacte que l'on peut attribuer à une élection de parties et à une attraction similaire qui a dû s'opérer au sein de ces roches en fusion. Telles sont les amygdaloïdes à noyaux contemporains, presque toujours de nature feldspathique, comme la diorite orbiculaire de Corse, dans laquelle on voit des couches concentriques blanches (albite), à texture radiée, séparées par des couches d'actinote affectant la même disposition. On peut citer encore la variolite de la Durance, dont les éléments glanduleux sont formés par du jade compacte. Les globes de la pyroméride de Corse tiennent le milieu entre ces deux états ; on y distingue une texture grumelée avec une tendance à la disposition radiée.

A la suite de ces concrétions, il serait assez naturel de placer certaines stalactites de soufre, celles de lave, que l'on trouve dans les cavités des coulées refroidies, et les larmes ou bombes volcaniques, qui sont dues à des portions de lave pâteuse lancées en tournoyant dans les airs où elles se sont consolidées par le refroidissement. Dans ce dernier exemple, toutefois, l'action mécanique contribue pour beaucoup à la création de la forme.

INCRUSTATIONS.

On appelle ainsi des croûtes de diverses matières, de calcaire principalement, qui résultent d'un dépôt opéré à la surface d'un corps quelconque par un liquide tenant ces matières en dissolution plus ou moins parfaite. Dans les circonstances ordinaires, ce dépôt se fait assez rapidement et sans apparence cristalline; mais quelquefois aussi il a pu s'opérer assez tranquillement et avec assez de lenteur pour donner lieu à des tapis cristallins.

Les incrustations calcaires se forment naturellement, sous nos yeux, presque partout où existent des sources acidules et calcarifères; mais on peut, à l'aide de l'art, régler et perfectionner leur formation. En faisant arriver ces eaux dans une chambre où elles puissent tomber par petits filets sur des pierres ou des pièces de bois, en y déposant les matières les plus grossières qu'elles tenaient en suspension, on réussit à les éparpiller tout autour de ces obstacles et l'on détermine ainsi leurs dépôts les plus fins à recouvrir divers objets ayant une forme plus ou moins gracieuse ou élégante, comme des végétaux, des fruits, des nids d'oiseaux, etc..., que l'on vend ensuite aux curieux. Saint-Allyre et Saint-Nectaire, en Auvergne, sont depuis longtemps célèbres pour ce genre d'industrie. On connaît aussi le parti qu'a su tirer le docteur Vigny des eaux calcarifères de Saint-Philippe, en Toscane, pour former, dans des moules en creux exécutés avec soin d'après les œuvres des meilleurs artistes, des incrustations que l'on peut enlever ensuite et qui reproduisent en relief, avec la plus grande exactitude, les contours les plus délicats du modèle. Ces bas-reliefs de Saint-Philippe, qu'on a cherché à imiter en Auvergne, doivent les précieuses qualités que nous venons de signaler à la finesse et à la blancheur de la matière calcaire déposée.

Lorsque des eaux calcarifères se rendent dans un marais, elles incrustent les charas, les joncs qui y croissent, et finissent quelquefois par combler la dépression par un calcaire poreux et caverneux très-grossiers empâtant un grand nombre d'incrustations végétales. Il existe des dépôts de cette sorte dans les terrains de l'époque actuelle; mais les plus considérables appartiennent à l'époque quaternaire. On donne généralement à ces dépôts le nom de *tuf* ou de *travertin*, de même qu'à ceux qui se sont modelés pure-

ment et simplement sur la surface du sol. La localité de Saint-Allyre, déjà citée pour ses incrustations par moulage, offre un exemple curieux de dépôt de ce genre. C'est un pont naturel que l'eau minérale s'est fait elle-même assez récemment et à l'aide duquel, pendant longtemps, elle a pu traverser un ruisseau pour aller former de nouveaux dépôts du même genre sur la rive opposée.

La plupart des incrustations consistent, ainsi que nous l'avons dit, en un dépôt, ordinairement chimique, de matières en solution au milieu d'un liquide qui est presque toujours l'eau; mais il en est d'autres qui doivent leur existence à des substances sublimées directement ou transportées par des vapeurs ou des gaz (soufre, pyrite, dolomie, quartz). Dans cette catégorie se trouvent les enduits et les tapis, le plus souvent cristallins, qui revêtent certains minéraux de filons.

STRUCTURES COMMUNES.

Le mot *structure* est généralement employé en minéralogie pour désigner la manière dont les éléments d'un minéral sont agrégés, sa composition mécanique interne. Le mot *texture* exprimerait peut-être mieux cet état intérieur lorsqu'il est fin, intime; nous l'emploierons souvent conjointement avec l'autre dénomination qui, dans ce cas, indiquera une composition plus en grand.

La structure peut être *régulière, commune* ou *accidentelle*. Nous avons parlé de la première en cristallographie; il sera question de la dernière, qui a fort peu d'importance, à la fin de ce chapitre. Le présent paragraphe sera exclusivement consacré aux structures communes.

Ces structures, les plus fréquentes de toutes, résultent de l'agrégation de molécules physiques ou cristallines qui n'ont pu donner naissance à des cristaux réguliers, empêchées qu'elles étaient par des circonstances particulières. Nous y comprenons des structures plus grossières, comme la structure arénacée, dont les éléments ne sont plus ici des molécules, mais bien des fragments plus ou moins fins, plus ou moins homogènes.

Les structures communes sont assez nombreuses et assez variées pour qu'il soit utile de les étudier dans un certain ordre. Nous adoptons celui qui est indiqué par le tableau suivant :

TABLEAU DES STRUCTURES COMMUNES.

A. Cristalline.	1° *Linéaire ou allongée* (parallèle, radiée ou croisée).	Bacillaire. Aciculaire. Fibreuse.
	2° *Superficielle*	Laminaire ou spathique. Lamellaire. Ecailleuse. Schistoïde.
	3° *Solide*	Pièces séparées. Grenue. Saccharoïde.
	4° *Vitreuse.*	»
B. Concrétionnée.	1° *Simple*	Concentrique. Testacée.
	2° *Agrégée*	Stratoïde ou zonaire. Oolitique et pisolitique. Glanduleuse.
C. Compacte		Propre. Par atténuation.
D. Terreuse		Par agrégation. Par décomposition.
E. Arénacée		Arénacée proprement dite. Poudingiforme. Bréchiforme.

A. CRISTALLINE.

De toutes ces structures communes d'agrégation, celles qui intéressent le plus les minéralogistes sont les structures à éléments cristallins. On peut les diviser en trois genres basés sur la forme et la disposition des éléments agrégés, et ces genres eux-mêmes sont susceptibles d'être subdivisés d'après la considération de certains caractères accessoires.

1° Linéaire. — Dans laquelle les éléments sont allongés suivant des lignes parallèles, divergentes ou croisées.

Bacillaire. — Dans les masses minérales qui présentent cette variété de structure la cassure montre des espèces de baguettes qui, lorsqu'elles ont un assez grand diamètre, sont comparables

à des colonnes (*colonnaire*) quand leur surface est arrondie, et à des prismes (*prismatoïde*) dans le cas où elle se compose de pans irréguliers. Ces éléments peuvent être, d'ailleurs, parallèles ou rayonner à partir d'un ou de plusieurs centres (calcaire, aragonite, tourmaline, stibine), ou croisés en divers sens et même entrelacés (barytine).

Aciculaire. — C'est la même structure dans laquelle les éléments sont grêles au point d'être assimilables à des aiguilles (calcaire, aragonite, actinote, pyrite, stibine).

Fibreuse. — Ici l'atténuation est portée à sa limite, et les masses ou plaques minérales qui la présentent paraissent être composées de fibres plus ou moins fines et serrées, et qui offrent souvent un éclat nacré ou soyeux très-agréable (gypse, calcaire, malachite).

Ces éléments fibreux sont fréquemment dus à un état cristallin intime de certaines concrétions (aragonite, malachite). D'autres fois, ils doivent leur naissance à la cause qui a produit les filets capillaires (voir page 259). Dans ce cas se trouvent évidemment le gypse et le calcaire fibreux, qui remplissent des veines dans certaines roches schisteuses. En effet, les fibres qui constituent ces variétés sont perpendiculaires aux parois de la veine, et l'on est d'autant plus disposé à croire qu'elles ont été poussées de l'intérieur des masses dans les étroits espaces qu'elles remplissent, qu'on les voit souvent s'infléchir vers le milieu de l'épaisseur de la veine, comme si, ayant marché les unes vers les autres à partir des deux parois, elles s'étaient rencontrées et comprimées mutuellement. Le plan où s'est fait cette rencontre se trouve même quelquefois indiqué par une petite portion de la gangue que les fibres ont emportée et poussée devant elles lorsqu'elles s'allongeaient. Ces fibres sont ordinairement droites, mais elles peuvent aussi offrir diverses courbures (asbeste). Quant à leur disposition, elle est assez variable; tantôt elles présentent, comme dans les structures précédentes, des agrégations d'éléments parallèles ou divergents; tantôt les éléments fibreux, plus faiblement agrégés, se trouvent réunis sous la forme de *houppes* (amiante), ou de *flocons* (mésotype), ou en masses *feutrées* (*cuir* ou *liége* de montagne).

2° Superficielle. — Dans laquelle la cassure montre des éléments offrant des surfaces ordinairement planes.

Laminaire ou *spathique* (1). — Cette structure résulte de l'agrégation et de l'enchevêtrement d'éléments cristallisés et clivables d'un assez fort volume; elle offre à l'œil l'assemblage de plans miroitants assez étendus, dont les uns, ceux qui dépendent d'un même élément, forment entre eux l'angle de clivage qui lui est propre, tandis que ceux de deux éléments cristallins différents font un angle quelconque (calcaire, fluorine, galène).

On peut placer ici les masses clivables de calcaire, de gypse, etc., qui n'ont aucune forme régulière à l'extérieur sans y rattacher aucune considération de clivage régulier (2).

Lamellaire. — On désigne par ce nom la structure qui vient d'être définie lorsque les lames miroitantes se réduisent à des lamelles (marbre de Paros, galène). Si les lamelles sont extrêmement petites, on atténue l'expression en la faisant précéder de la particule *sub* (calcaire *sublamellaire*).

La structure lamellaire est due quelquefois à des fragments de test d'échinodermes (encrines, oursins), lesquels sont composés de calcaire spathique (calcaire à entroques).

L'épithète de *lamelleuse* est souvent employée, d'une manière générale, pour indiquer une structure superficielle quelconque, et plus particulièrement lorsque les lamelles ont une assez grande surface.

Appendice. Lorsque des minéraux clivables sont disposés par éléments linéaires, il arrive souvent qu'ils montrent transversalement une disposition lamellaire et qu'ils réunissent, par conséquent, les deux genres de structures que nous venons de faire connaître. Pour exprimer ces structures mixtes, on se sert ordinairement d'une périphrase ; mais on pourrait encore employer

(1) Dans l'ancienne minéralogie on désignait par la dénomination générale de *spath* tous les minéraux pierreux susceptibles de se diviser plus ou moins facilement en lames. De là les noms de *spath calcaire* ou *calcaire spathique* qui est encore employé, de *spath fluor* (fluorine), *spath pesant* (barytine), *feldspath*, *fer spathique* (sidérose laminaire) *spath adamantin* (corindon harmophane, Haüy).

(2) Nous devons mentionner à part une structure toute spéciale qui diffère de la structure spathique par des caractères cristallographiques et dont nous avons déjà dit un mot dans la note de la page 180. Elle résulte de l'empilement de lames minces ou de grandes écailles qui doivent être considérées comme des cristaux extrêmement aplatis dans le sens de l'axe. Le calcaire offre un exemple bien remarquable de cette structure dans la variété nacrée squammoïde que les Allemands désignent par le nom de *schiefer-spath*.

des mots composés, comme *bacillo-lamellaire* (1). *fibro-lamellaire.*

Ecailleuse. — Lorsque les lamelles se présentent sous forme de petites écailles plus ou moins courbes, médiocrement ou faiblement agrégées, on dit que la structure est *écailleuse* (lépidolite, chlorite, oligiste micacé).

Schistoïde. — Si les particules lamelliformes, qui se réunissent pour former des masses lamellaires ou écailleuses, sont couchées à plat parallèlement à un seul plan, il arrive que ces masses ont une tendance à se diviser en plaquettes ou en feuillets dans ce sens ; on a alors une structure analogue à celle des schistes et qu'on désigne par l'épithète de *schistoïde* (mica, graphite).

3° Solide. — Dans laquelle on considère l'étendue des éléments dans les trois sens à la fois.

Pièces séparées. — Nous appelons ainsi avec Werner les éléments agrégés constituant certaines variétés minérales (grenat, dolomie) dont le volume est trop considérable pour qu'on puisse leur donner le nom de *grains.* Les pièces séparées adhèrent en général assez faiblement et peuvent se détacher les unes des autres avec une certaine facilité.

Grenu ou *granulaire.* — C'est la structure qui est produite par l'agrégation de grains plus ou moins cristallins qui sont, en général, contemporains de l'agrégation elle-même. Telle est la structure du granite et celle de beaucoup de variétés minérales (dolomie, barytine, grenat, aimant). L'épithète de *subgrenue* ou de *subgranulaire* s'applique aux variétés dont les grains sont très-petits (dolomie, aimant, galène).

Saccharoïde. — Lorsque les grains que montre la cassure présentent des facettes miroitantes, on a une structure mixte qui peut être désignée sous le nom de *grano-lamellaire* ; on la nomme *saccharoïde* à cause de sa ressemblance avec celle du sucre, lorsque les éléments sont blancs et d'un petit volume (marbre de Carrare, albâtre gypseux).

4° Vitreuse. — C'est une structure cristalline compacte

(1) Le calcaire bacillaire ou aciculaire offre toujours une disposition lamellaire dans sa cassure transversale et se distingue facilement, dans ce cas, de l'aragonite, qui, dans les mêmes circonstances, ne donne qu'une surface vitreuse et irrégulière.

dans laquelle il est impossible de distinguer aucun élément et qui tient à la nature même du corps. Le verre, ou mieux, le cristal artificiel, est le type de cette structure, qui se retrouve avec tous ses caractères dans le quartz hyalin de la minéralogie.

Nota. Il existe encore des structures ou textures cristallines qui sont trop particulières pour qu'il y ait lieu de s'en occuper ici. Nous accorderons, toutefois, une mention à celle que l'on peut désigner par le nom d'*étonnée* ou de *fendillée,* qui résulte d'une multitude de fêlures irrégulières. Cette structure constitue un caractère distinctif pour le feldspath des trachytes (ryacolite) ; elle est aussi très-remarquable dans la fluorine concrétionnée du Derbyshire.

B. CONCRÉTIONNÉE.

1° Simple. — Nous avons déja indiqué ce genre de structure à l'article *concrétions*. Elle consiste principalement dans une disposition concentrique relative à un point (rognons, pisolites) ou à un axe (stalactites) ; mais elle se combine souvent avec une texture radiée à éléments plus ou moins fins ordinairement fibreux. Elle comprend aussi la structure testacée dont les éléments ne sont indiqués que par des surfaces de séparation courbes ou ondulées et qui se présentent comme de grandes écailles susceptibles, dans certains cas, d'être séparées (arsenic).

On désigne particulièrement par le nom de *stratoïde* la structure qui résulte d'une disposition ondulée, qui approche beaucoup d'être plane, de couches parallèles diversement nuancées qui se recouvrent (albâtre, aragonite).

2° Agrégée. — Celle-ci résulte de l'agrégation d'éléments concrétionnés qui peuvent être des oolites ou pisolites et des glandes ou grumeaux. La structure oolitique est la plus fréquente et la plus remarquable (calcaire, limonite). Elle affecte, ainsi que nous l'avons déjà dit ci-dessus, des couches et même des assises entières de calcaire, qui jouent un rôle assez important, particulièrement dans le groupe jurassique.

Il y a aussi des calcaires pisolitiques, principalement dans les terrains tertiaires ou dans les travertins modernes.

L'épithète de *grumelée* pourrait être employée pour désigner des

agrégats de grumeaux et même pour les calcaires composés de pisolites mal conformées et confluentes (calcaire pisolitique de Meudon).

La *structure glanduleuse* que présentent certaines roches composées d'une pâte empâtant des glandes ou amandes, se rapporte naturellement à cette division; mais cette structure rentre plutôt dans le domaine de la géognosie.

C. COMPACTE.

La structure, ou mieux, la texture compacte, est celle dont les éléments ont tant de finesse qu'il est impossible de les distinguer.

Il y a des minéraux naturellement compactes. Les uns *vitreux* (quartz hyalin), qui appartiennent à la catégorie des textures cristallines, et les autres *lithoïdes,* comme les jades; mais la compacité qui se rapporte principalement aux structures communes dont nous nous occupons en ce moment, doit être regardée comme un résultat de l'agrégation d'éléments extrêmement atténués, qui étaient perceptibles dans toutes les structures précédentes.

D. TERREUSE.

Nous plaçons ici une structure que l'on rencontre assez fréquemment dans les matières minérales et qui résulte de l'agglomération et d'une faible agrégation de particules physiques (craie); mais il faut bien remarquer qu'il est des structures terreuses qui ont une toute autre cause, comme, par exemple, la décomposition de différentes matières solides et même de minéraux cristallisés (kaolin).

E. ARÉNACÉE.

Cette structure appartient plutôt aux roches qu'aux minéraux; elle doit être soigneusement distinguée de la structure grenue proprement dite. Ici les éléments ont été empruntés à des masses minérales préexistantes et n'ont été agrégés que d'une manière adventive après avoir été transportés, lotis et réunis ordinairement par les eaux. Lorsque ces éléments sont d'un assez gros volume et qu'ils ont une forme arrondie indiquant qu'ils ont été longtemps roulés, on se sert de l'épithète de *poudingiforme.* Celle

de *bréchiforme* s'applique aux masses arénacées dans lesquelles les éléments sont anguleux. Enfin, on appelle *grès* le résultat de l'agrégation de grains homogènes d'un petit volume.

CONFIGURATIONS ACCIDENTELLES (1).

Il serait inutile de songer à faire une liste et une description complètes de toutes les configurations accidentelles que le règne minéral est susceptible d'offrir ; un pareil travail, quand même on réussirait à l'accomplir sans lacunes, offrirait d'ailleurs fort peu d'intérêt. Les seules formes de cet ordre qu'il soit réellement utile de faire connaître dans un article général sont celles qui se présentent fréquemment et qui peuvent s'étendre à un certain nombre d'espèces.

C'est de ces dernières seulement qu'il sera question dans ce paragraphe. Nous en avons formé six groupes, que nous étudierons dans l'ordre suivant :

A. Groupements cristalloïdes.
Dendrites. — Crêtes de coq. — Faisceaux.

B. Filets capillaires.

C. Epigénies organiques.

D. Formes par moulage.

E. Formes par retrait.

F. Cailloux roulés.

A. Groupements cristalloïdes. — Le nom qui nous sert à désigner cette première catégorie indique assez que les configurations qui la composent laissent encore apercevoir l'influence de la cristallisation. En effet, le caractère qui distingue ces configurations est d'être formées, dans la plupart des cas, par l'assemblage de cristaux très-oblitérés, il est vrai, mais toujours constitués par des molécules cristallines.

(1) M. Beudant a traité ce sujet avec beaucoup d'étendue dans sa minéralogie, et nous avons eu souvent recours à ses excellents articles pour la composition de ce paragraphe et du suivant.

Dendrites. — Les plus remarquables sont offertes par les métaux natifs (argent, cuivre). Ce sont de petits cristaux oblitérés (octaèdres, cubes...), ordinairement méconnaissables, qui se trouvent soudés à la suite les uns des autres, de manière à former des tiges d'où se détachent des rameaux et des ramuscules imitant, le plus souvent, ceux d'un arbuste, ce qui leur a fait donner le nom de *dendrites* (*δένδρον*, *arbre*). Il arrive aussi que de menus éléments cristallins se réunissent en files parallèles auxquelles viennent se rattacher des filets transverses et perpendiculaires. On a comparé ces curieux accidents à des *réseaux* et à des *tricots* (smaltine, argent). D'autres fois des rameaux se groupent et se serrent sous un angle indéterminé à partir d'un axe droit ou courbe de manière à donner naissance à une espèce de *palme*. Dans ce cas, les éléments de la structure sont, le plus souvent, de petites lames (mica, bismuth, galène).

On trouve, dans les collections, des dendrites isolées qui étendent leurs branches dans tous les sens, et d'autres qui ont une forme aplatie. Les premières étaient engagées dans une gangue dont on les a débarrassées; les secondes ont été détachées de la surface d'une roche ou d'une fissure où elles se trouvaient étalées ou comprimées. Celles-ci ont beaucoup de rapport avec les arborisations qui se forment pendant l'hiver sur la paroi intérieure des vitres des appartements. On peut comparer aussi à ces dernières configurations et rapporter même à une cause semblable les dessins arborisés, sans épaisseur sensible, ou *dendrites superficielles*, que l'on trouve fréquemment sur les surfaces de stratification ou de joints de certaines roches, et surtout des calcaires compactes. Elles sont, en général, noires, jaunâtres ou brunâtres. On les attribue à la cristallisation imparfaite d'oxydes métalliques (fer, manganèse, cobalt).

Les mêmes oxydes pénétrant dans la masse de la roche ont donné naissance aux *dendrites profondes*. Toutefois, parmi ces dernières, il en est qui sont à peu près contemporaines du minéral qui les renferme (intestines). Telles sont les agates *arborisées*, les agates *mousseuses*. Les accidents qui les caractérisent se sont évidemment développés, au sein de la matière siliceuse à l'état gélatineux, par le départ d'oxydes métalliques.

Crêtes de coq; roses. — A la suite des dendrites doivent prendre place d'autres groupements cristallins imitant diverses formes qui

servent à les dénommer. Telle est la disposition en *crête de coq*, qui n'est autre chose qu'un assemblage de tables oblitérées ou de lentilles alignées, suivant une direction principale à laquelle se rattachent souvent d'autres directions secondaires très-obliques (barytine) ; tel est encore le groupement en forme de *rose*, dont les éléments sont des cristaux plats oblitérés étalés autour d'une partie centrale comme les pétales d'une fleur (quartz calcédonieux floriforme).

Faisceaux. — Cette dénomination s'applique à des groupes de cristaux aciculaires qui se trouvent réunis en faisceaux isolés ou groupés. L'aragonite des mines de fer de Styrie offre un exemple de ce dernier genre : ce sont des aiguilles en groupes fasciculés disposés les uns par rapport aux autres dans des directions très-variées, de manière à présenter dans leur ensemble, mais grossièrement, une forme rameuse.

B. Filets capillaires. — Certains minéraux sont susceptibles de se réduire, sous l'influence de circonstances particulières, en filets souvent d'une ténuité extrême. Parmi ces filets, les uns peuvent être attribués à une cause principalement aqueuse, et les autres à l'action de la chaleur. Occupons-nous d'abord des premiers.

Lorsqu'une masse argileuse contient de la pyrite disséminée, par exemple, celle-ci ne tarde pas à se transformer en un double sulfate de fer et d'alumine que l'on voit pousser, pour ainsi dire, à la surface, sous forme de filaments dont l'ensemble offre à l'œil l'aspect de houppes. C'est de cette manière que se présente aussi le nitre dans certaines plaines de l'Inde et l'epsomite dans quelques parties de l'Espagne. Dans le cas de la pyrite que nous avons choisie comme exemple, voici comment les choses se passent. L'eau qui imbibe l'argile, dissolvant d'une manière incessante le double sulfate à mesure qu'il se forme, finit bientôt par en être saturée. A partir de ce moment, la précipitation de la matière à l'état cristallin tend à se faire. Si donc on suppose une partie de l'argile en contact avec l'air extérieur ou formant les parois d'une fente ou d'une cavité, il devra se déposer une particule cristalline à l'orifice de chaque petit canal intermoléculaire qui débouche dans ces vides. En arrière de celle-ci, il s'en produira une seconde qui se collera à la première et qui la poussera en avant ; la seconde se réunira de la

même manière à une troisième qui poussera les deux précédentes ; celle-ci se trouvera, à son tour, poussée par une quatrième ; de sorte qu'au bout d'un certain temps, l'ensemble de ces particules formera des filets qui resteront libres ou associés sous forme de touffes ou qui s'accoleront parallèlement de manière à former une plaque transversalement fibreuse.

Cette explication convient parfaitement aux exemples cités plus haut et à d'autres sels encore. Elle s'applique même à certains haloïdes fibreux, comme le gypse et le calcaire dont nous avons parlé au paragraphe des structures communes. Pour les minéraux capillaires de la classe des métaux, tels que l'argent, le cuivre, l'or, on ne peut avoir recours à cette théorie. Il faut invoquer alors les forces électro-chimiques. Il paraît aussi que, dans beaucoup de cas, les minéraux capillaires de cette catégorie ont été fondus, ou au moins ramollis, et poussés par l'action de la chaleur, de manière à être forcés de sortir par les pores de leur gangue comme à travers les trous d'une filière. L'argent est très-remarquable par la finesse des filaments, soit isolés, soit réunis sous forme de mèches, qu'il présente dans presque tous ses gîtes. L'explication qui vient d'être donnée paraît d'autant mieux devoir lui être appliquée, qu'elle se trouve appuyée par l'expérience ; car il suffit de mettre un morceau de roche riche en argent disséminé à l'entrée de la moufle d'un fourneau de coupelle pour déterminer le métal à sortir sous forme de filaments plus ou moins déliés qui se contournent ensuite en divers sens.

C'est peut-être une action du même genre, favorisée par l'influence de la thermalité, qui a produit ces fibres flexibles qui sont regardées comme un état particulier de certains minéraux pierreux (amphibole, pyroxène, épidote, serpentine) que l'on a appelés ***amiante***, ***byssolite***, et qui semblent sortir par touffes de l'intérieur de certaines roches qui en contiennent les éléments chimiques.

On connaît peu encore l'origine des aiguilles pierreuses (épidote) ou métalliques (rutile) que l'on voit assez fréquemment traverser des cristaux de quartz hyalin. Elles ont dû se former par affinité élective au milieu de la matière quartzeuse, lorsqu'elle n'était pas encore entièrement consolidée.

Nous plaçons ici en appendice une sorte de filaments qui sont le résultat du refroidissement subit d'une matière en fusion qui au-

rait été étirée par une action mécanique violente. Je veux parler des scories capillaires rejetées par quelques volcans (île de la Réunion).

C. Epigénies organiques. — L'épigénie, c'est-à-dire la substitution moléculaire d'une substance à une autre, que nous avons vu se produire dans les minéraux cristallisés, est encore plus fréquente dans les corps organisés enfouis dans le sein de la terre, principalement dans les coquilles et dans les tiges végétales.

Les coquilles dont la substance ordinaire est principalement formée par du carbonate de chaux, se transforment peu à peu, dans leur matrice, en une matière tout à fait étrangère et adventive, soit pierreuse, soit métallique, qui varie suivant les lieux et suivant les circonstances. Cette matière est le plus souvent la silice, la pyrite ou la limonite, et quelquefois la barytine, la fluorine et même l'oligiste.

Pour les tiges végétales, c'est presque exclusivement la silice, qui vient ainsi se substituer, molécule à molécule, à la matière ligneuse, dont elle laisse intacts les plus menus détails d'organisation intérieure. Rien n'est plus frappant, sous ce rapport, que les troncs de palmiers transformés en silex ou en opale qu'on rencontre assez fréquemment dans nos climats au sein des terrains tertiaires, et dont la section transversale montre tous les vaisseaux propres à ces végétaux monocotylédonés. Un autre exemple bien curieux est offert par les troncs de fougères silicifiés (*psaronius*) que l'on rencontre quelquefois à la partie supérieure du terrain houiller d'Autun et qui sont caractérisés par la forme étoilée de leurs faisceaux vasculaires.

Dans ces dernières pseudomorphoses, il y a, comme on le voit, substitution complète de la matière minérale à la matière organique. Le corps organisé se trouve donc, dans ce cas, réellement transformé en pierre et mérite à tous égards le nom de *pétrification* qui est trop souvent et mal à propos appliqué à des corps simplement incrustés.

D. Configurations par moulage. — Nous ne reviendrons pas sur les moulages de cristaux dont il a été question dans le chapitre précédent. Nous n'avons à parler ici que de ceux qui offrent des formes organiques ou qui donnent naissance à des noyaux postérieurs dans certaines roches.

Moulages organiques. — Ceux-ci se manifestent surtout dans les coquilles fossiles. Nous venons de voir qu'elles étaient assez souvent transformées par épigénie ; mais quelquefois aussi la matière qui les compose ayant été dissoute par des eaux thermales acidules, le vide qui en est résulté a été rempli par une matière étrangère. Le plus souvent ce n'est pas le moulage de la coquille qui se produit, mais bien celui de son intérieur qui se fait par la matière même de la couche au milieu de laquelle elle a été fossilisée ; d'où il résulte un *moule intérieur* sur lequel restent tracées toutes les dispositions organiques internes, comme les impressions musculaires et certaines parties de la charnière des bivalves, les columelles des univalves, etc. Dans d'autres circonstances, l'extérieur de la coquille, avec tous ses détails, se trouve moulé en creux sur la roche en y laissant son empreinte.

Enfin, l'on rencontre fréquemment, à la surface des couches ou des feuillets de certains terrains, des impressions planes produites par divers corps organisés, comme des poissons, des végétaux variés (impressions végétales des houillères, poissons bitumineux d'Autun, poissons cuivreux de Thuringe).

Noyaux formés par moulage. — Lorsque certaines roches cellulaires ont été imbibées par des liquides ou des vapeurs tenant en solution ou en suspension, à l'état moléculaire, différents minéraux, ceux-ci ont souvent rempli ces cellules et y ont ordinairement cristallisé. Telles sont les zéolites, l'aragonite, le calcaire, la calcédoine, etc., qui forment des noyaux plus ou moins cristallins, souvent géodiques, au milieu des roches trappéennes ou basaltiques, noyaux qu'il ne faut pas confondre avec les concrétions de même forme, mais contemporaines, dont nous avons parlé en traitants des rognons.

Les agates paraissent participer à la fois des concrétions réniformes et des noyaux formés par moulage dans des cavités préexistantes ; peut-être aurions-nous dû les rapporter à cette dernière catégorie.

E. Configurations par retrait. — Quand un corps à l'état boueux se dessèche, la matière se consolide en se resserrant autour d'un centre ou d'axes fréquemment parallèles ; d'où il résulte des parties polyédriques séparées par des vides en forme de fissures ou de crevasses. Ce phénomène, dont nos yeux peu-

vent être chaque jour les témoins dans l'ordre de choses actuel, a dû se produire au sein des dépôts homogènes plus ou moins anciens qui constituent les terrains stratifiés. C'est ainsi que se sont formés les prismatoïdes de gypse qui distinguent la grande masse dite les *hauts piliers*, à Montmartre. C'est encore par un retrait symétrique qu'on explique la formation, au milieu des marnes de cette même localité, des pyramides quadrangulaires groupées, au nombre de six, par leurs sommets, autour d'un centre, et dont l'ensemble offre l'aspect d'un cube disloqué. Les concrétions auxquelles on a donné le nom de *ludus* ne sont autre chose que des rognons calcaréo-marneux fendus en divers sens, à l'intérieur, par suite d'un retrait. On trouve souvent, dans les crevasses ainsi produites, différents minéraux cristallisés, et notamment du quartz en cristaux isolés et d'une limpidité parfaite, ayant la forme de prismes courts pyramidés (environs de Grenoble). D'autrefois, ces fentes ont été entièrement remplies par une matière plus ou moins cristalline qui se dessine, sur la section transverse du rognon, sous forme d'une réunion de polygones dont la couleur claire tranche sur la teinte ordinairement noirâtre des surfaces qu'ils entourent. Si la matière primitive vient à disparaître, il ne reste plus alors que le minéral adventif, qui offre un assemblage de prismes creux comparable à une ruche d'abeilles.

Stylolites. — Certains calcaires toujours plus ou moins compactes appartenant à diverses formations, notamment au trias et au terrain jurassique, offrent, vers le plan de séparation de deux couches et même au milieu d'un même banc, des bandes striées perpendiculairement à ce plan. Dans ces sortes d'horizons, les stries semblent partir les unes d'en haut, les autres d'en bas, et s'enchevêtrent comme le feraient deux brosses que l'on aurait pressées l'une contre l'autre du côté des crins.

Ces zones d'enchevêtrement donnent, à la cassure, des échantillons cylindroïdes ou prismatoïdes revêtus à l'extérieur de stries régulièrement parallèles, généralement teintées de jaunâtre ou de rouille sur un fond plus clair.

Ces accidents minéralogiques, auxquels les Allemands ont donné un nom que nous traduisons par celui de *stylolite*, ont été expliqués de diverses manières; la place que nous leur avons assignée ici indique suffisamment que nous les considérons comme un effet

de resserrements moléculaires réglé et régularisé par des circonstances particulières encore mal connues.

C'est encore à un retrait pseudo-régulier qu'il faut attribuer la cassure rhomboïdale ou rectangulaire qu'offrent souvent les roches schisteuses homogènes.

Il nous reste à parler de formes par retrait, pour lesquelles il sera indispensable de faire intervenir la chaleur et le refroidissement. La plus connue et la plus remarquable de ces formes est celle de prismes ou de prismatoïdes qu'offrent assez fréquemment les basaltes, les phonolites et même certains porphyres. Il est clair, dans ce cas, que c'est pendant le refroidissement plus ou moins rapide de ces roches, lorsqu'elles étaient en fusion, que ce phénomène s'est produit. Aussi remarque-t-on que les prismes dont il s'agit sont toujours perpendiculaires aux surfaces dont le contact était la cause la plus immédiate du changement brusque de température. Quant au nombre des faces, il est assez variable: dans le cas où ce phénomène aurait pu s'opérer avec toute la régularité dont il est susceptible, tous les prismes seraient hexagonaux et réguliers, ainsi que la théorie l'indique. La chaleur, sans fondre entièrement les matières minérales, peut, dans quelques circonstances, les déterminer à prendre un retrait prismatique. Aussi voit-on, dans le voisinage de certains filons de roches ignées, des limonites changées en oligiste bacillaire, des grès disposés en prismes perpendiculaires aux salbandes, des houilles passées à l'état de coke également *prismatisé*. Cet effet se produit même sur les matériaux qui composent les hauts fourneaux destinés à la fusion des minerais de fer.

F. Cailloux roulés. — Nous avons formé cette dernière division des configurations accidentelles, pour les cailloux des rivières et les galets des plages maritimes, et pour ceux qui constituent les poudingues et certains amas meubles dans différents terrains, lesquels ont pris des formes sphéroïdales ou ovoïdes par suite de leur choc mutuel et de leur frottement les uns sur les autres ou sur le fond des torrents, fleuves ou des mers qui les ont transportés souvent d'une très-grande distance. Les cailloux qui ont un faible volume, considérés en masses, prennent particulièrement le nom de *gravier* ou de *grève*.

STRUCTURES ACCIDENTELLES.

La plupart des structures accidentelles se rapportent aux configurations du même genre et sont désignées de la même manière. Il en est cependant qui ont une existence indépendante et dont la désignation doit se faire conséquemment par des noms particuliers.

Nous ne nous occuperons, dans ces généralités, que des plus importantes. Elles peuvent être réparties dans les quatre catégories suivantes, qui comprennent elles-mêmes plusieurs sortes :

A. Dendritique.
Dendritique. — Réticulée. — Tricotée. — Palmée.

B. Par retrait.
Prismatique. — Tabulaire. — Schisteuse. — Concentrique.

C. Cellulaire.
Cellulaire. — Cloisonnée. — Tubulaire. — Hachée.

D. Organique.

A. Dendritique. — C'est celle des masses composées de petits cristaux accolés formant divers groupes ramuleux (argent, cuivre). On se sert des épithètes *tricotée* et *réticulée* dans le cas où les dendrites offrent l'aspect d'un tricot ou d'un réseau (argent, cobaltine). Il y a aussi une structure *palmée* qui se rapporte à la disposition qui porte ce nom et qui a été signalée au paragraphe des formes accidentelles (mica).

B. Par retrait. — Cette structure se produit dans les circonstances que nous avons indiquées en parlant des formes accidentelles, tantôt par dessèchement, tantôt sous l'influence du feu ou du refroidissement, causes auxquelles il est souvent nécessaire de joindre le jeu des affinités moléculaires. Nous y avons fait quatre divisions basées sur la forme des éléments auxquels le retrait donne naissance, et qu'on peut désigner par les noms de *prismatique*, *tabulaire*, *schisteuse*, *concentrique*.

Prismatique. — Ici viennent naturellement se placer les assemblages de prismes ébauchés qui résultent d'un dessèchement (marne, célestine, ludus), ou du refroidissement d'une matière en

fusion (colonnades basaltiques), ou enfin d'un resserrement moléculaire autour de certains axes par l'action de la chaleur (*prismatisation*) (limonite changée en oligiste bacillaire, grès et coke divisés en baguettes).

Tabulaire et schisteuse. — Comme exemple de cette espèce particulière de structure par retrait, nous citerons les roches compactes trachytiques, qu'on appelle *phonolites*, qui se laissent diviser en plaques ou tables sonores, et certains schistes qui offrent des feuillets obliques à la stratification (ardoise des Ardennes). Cette schistosité accessoire ne changeant pas de direction, malgré les inclinaisons diverses et les ondulations des strates, les géologues ont dû conclure de ce fait remarquable que cette disposition était postérieure au dépôt de la roche et même aux dérangements que nous venons d'indiquer. On pense généralement que cet accident de structure est dû à des mouvements moléculaires opérés sous l'influence de la chaleur centrale. La même cause pourrait également avoir contribué à produire les joints rhomboïdaux que nous avons signalés ci-dessus (page 264).

Concentrique. — Plusieurs minéraux présentent ce mode de structure; comme par exemple certaines limonites géodiques (ætites) à noyaux mobiles, composées de couches qui s'enveloppent en laissant entre elles d'étroits intervalles. Nous citerons encore le basalte qui, par le jeu des affinités moléculaires, et aussi par décomposition, s'exfolie, dans quelques circonstances, autour d'un centre, de manière à prendre la forme de boules qui, continuant à se diviser de cette manière, montrent à leur surface des tranches de couches concentriques qui rappellent la disposition des feuilles d'un chou pommé.

C. Cellulaire. — *Cellulaire proprement dite.* — Elle a lieu dans les minéraux qui offrent des cavités de diverses formes et grandeurs, particulièrement dans les calcaires magnésiens appelés *cargneules* et dans les meulières que l'on trouve en blocs au milieu de terrains argilo-ferrugineux de l'époque tertiaire, et que l'on suppose résulter de la décomposition d'un calcaire siliceux par l'action dissolvante d'eaux acidules.

Lorsque les cavités sont séparées par de simples lames de matières comparables à des cloisons, la structure prend le nom de *cloisonnaire*, comme dans les ludus réduits à un squelette pier-

reux par la disparition de la matière de leurs différentes pièces polygonales et dans certaines cargneules.

Structure hachée. — Dans quelques cas où ces cloisons sont très-minces comme des lames, très-rapprochées et disposées par groupes parallèles, on suppose qu'elles se sont formées par le remplissage de fissures de retrait très-fines dans une matière qui a disparu; leur ensemble offre alors l'aspect d'un corps qui aurait été *haché* (quartz).

Structure cariée. — Celle-ci n'est qu'une variété de la structure cellulaire dans laquelle les cellules sont petites, déchiquetées, irrégulières, un peu tubulaires.

Dans les cas que je viens de citer, les cellules sont ordinairement anguleuses ; mais elles se présentent souvent aussi sous des formes arrondies, et alors elles sont dues principalement à des dégagements de gaz (laves). Souvent elles ont été postérieurement remplies par une matière étrangère (quartz, aragonite, zéolite) ; elles produisent alors la structure *glanduleuse* ou *amygdaloïde* à noyaux postérieurs, qui est principalement du ressort de la géologie. Si les cellules sont petites et comparables à des bulles ou même à des pores, on peut désigner les modifications de structure auxquelles elles conduisent par les expressions de *bulleuse* et de *poreuse*.

Lorsque les vides l'emportent tellement dans le minéral qu'il se trouve réduit à une masse spumeuse et légère, on dit que la structure est *boursoufflée*. Si, en même temps, les cellules sont extrêmement allongées, principalement dans un sens, de manière que la masse offre une disposition grossièrement fibreuse droite ou contournée, on a la structure *ponceuse* (ponce).

Structure tubulaire. — Si les cellules qui renferme une masse minérale se présentent sous la forme de tubes droits ou sinueux, on passe à la structure tubulaire dont les calcaires lacustres, et surtout les calcaires siliceux des environs de Paris, nous offrent un exemple. On attribue, dans ce dernier cas, les cavités tubulaires à des dégagements de gaz.

D. Organique. — On donne ce nom aux structures des pétrifications dans lesquelles on retrouve, à l'intérieur, des traces d'organisation de végétaux ou d'animaux, comme par exemple les bois et les madrépores transformés en quartz ou en calcaire.

La structure des bois pétrifiés est désignée spécialement par l'épithète de *xyloïde.*

Certaines structures *tubulaires* et *cellulaires* dues à des tiges végétales décomposées ou à des trous de vers, de tarets ou de pholades, peuvent être rapportées à la structure organique.

CASSURE.

L'aspect des surfaces auxquelles donne naissance la cassure des minéraux fournit un caractère très-utile et très-employé. Dans la plupart des cas, la cassure ne sert qu'à dévoiler la structure et se confond même, dans la pratique, avec cette dernière propriété considérée comme moyen de distinction. Ainsi, les minéraux ont une cassure *lamellaire, grenue, fibreuse, vitreuse, étonnée, compacte...* lorsqu'ils présentent les structures qui portent ces différents noms. Mais, dans certaines circonstances aussi, la cassure montre, pour une même structure, sur les surfaces qu'elle découvre, divers accidents assez constants pour une variété donnée et même quelquefois pour toute une espèce minérale. Ces cassures spéciales sont offertes surtout par les minéraux ayant la texture compacte.

Cassure plate ou unie. — Cette désignation est employée lorsque les surfaces des fragments sont à peu près planes, sans aspérités ou cavités bien sensibles.

Cassure conchoïde. — Elle s'observe principalement dans les minéraux très-compactes et dont la texture est très-serrée, et surtout dans certaines espèces ou variétés vitreuses et résinoïdes (quartz, opale...). Elle offre alors, sur l'une des surfaces mises à nu, une cavité très-obtuse, et, sur l'autre, un relief correspondant, ornées, toutes deux, de zones ou rides concentriques qui rappellent grossièrement les stries d'accroissement des coquilles bivalves. Cette cassure est susceptible de diverses modifications; ainsi, l'on dit qu'elle est largement conchoïde lorsque les zones sont larges et s'étendent assez loin du centre.

Cassure conoïde. — Lorsque les minéraux du genre de ceux qui sont susceptibles de présenter la cassure conchoïde ont une grande homogénéité et qu'ils sont choqués en un point de leur surface dans une direction normale, l'ébranlement se communique symétriquement autour de ce point et détermine souvent la matière à se diviser concentriquement, et même à se détacher en écailles

qui laissent une protubérance conique dont le point choqué se trouve être le sommet (agate, silex corné, grès lustré). L'expérience peut se faire bien facilement avec une bille d'agate. Il suffit de la laisser tomber d'une hauteur suffisante sur un plan résistant pour y déterminer des félures concentriques, d'où résulte un petit cône intérieur.

Cassure esquilleuse. — Dans certains minéraux compactes (pétrosilex) le choc fait naître, sur la surface de cassure, une foule de fines écailles ou *esquilles* qui se détachent un peu sur une partie de leur étendue et qui offrent alors une translucidité et un affaiblissement de couleur qui les rendent immédiatement sensibles à l'œil. Cette cassure prend quelquefois le nom de *cireuse* lorsque le minéral offre particulièrement l'aspect de la cire (certaines serpentines).

Cassure crochue. — Celle-ci ne se présente pas, comme les précédentes, dans les minéraux compactes, mais bien dans les métaux natifs à structure dendritique. Elle est due à des aspérités pointues et crochues qui arrêtent la main lorsqu'elle cherche à passer sur les surfaces de cassure.

On cite encore, dans les descriptions, des cassures *irrégulières* ou *inégales.*

Outre les modifications que nous venons de faire connaître et qui dépendent plus ou moins de la structure d'agrégation, il en est d'autres qui se rapportent aux variétés d'éclat que peuvent présenter les surfaces des fragments. On considère, sous ce rapport, des cassures *vitreuse, résineuse, terreuse...* pour la caractérisation desquelles nous renvoyons aux caractères secondaires.

CARACTÈRES ESSENTIELS.

Pour qu'un caractère mérite le nom d'*essentiel,* il doit remplir à un degré suffisant les trois conditions suivantes :

1° Etre général, c'est-à-dire exister dans tous les minéraux ;

2° Etre constant pour une même espèce, ou, en d'autres termes, pour tous les minéraux doués des mêmes attributs ;

3° Etre observable et susceptible d'être apprécié par les moyens ordinaires de la minéralogie.

Or, si l'on passe en revue tous les caractères, à part toutefois les attributs que nous avons mis hors ligne, on n'en trouvera réellement que deux qui réunissent ces trois conditions : ce sont la *densité* et la *dureté*. En effet, tous les minéraux possèdent ces caractères, qu'il est assez facile d'apprécier et de mesurer même jusqu'à un certain point par des moyens très-simples ; de plus, ces propriétés sont constantes pour une même espèce, ou, du moins, les variations dont elles sont susceptibles ne sortent pas de certaines limites assez resserrées que nous ferons bientôt connaître. Ce résultat de l'observation était au reste facile à prévoir, car la densité et la dureté ne sont qu'une conséquence de la cohésion ; et il est, en effet, assez naturel de penser que des molécules identiques d'une même substance, agrégées en même nombre et avec la même force, doivent produire des corps de même poids et offrant une résistance à peu près égale à la désagrégation par la rayure.

Après la densité et la dureté, le caractère qui approcherait le plus d'être essentiel est la *fusibilité ;* mais celui-ci est moins général, puisqu'il y a un certain nombre de minéraux qui refusent de se fondre au feu le plus actif du chalumeau ordinaire ; de plus, il n'est susceptible que d'une appréciation très-vague, et enfin il a l'inconvénient de nécessiter la destruction de la pièce sur laquelle on opère. Toutefois, il est très-utile et très-employé. Nous ne faisons que le mentionner ici, nous proposant d'y revenir plus tard.

Le caractère tiré de la *réfraction* simple ou double, ce dernier surtout, est en rapport avec le système cristallin et paraît tenir de très-près à la nature et à l'état moléculaire du minéral cristallisé ; il offre, en général, une assez grande constance pour une même espèce ; mais il ne peut être observé que dans les minéraux cristallisés diaphanes ; il exige d'ailleurs des expériences délicates et des mesures précises qui sortent absolument des moyens que comporte l'histoire naturelle. Ce n'est donc pas réellement un caractère minéralogique essentiel ; cependant ses relations intimes avec la forme lui donnent un grand intérêt scientifique, et nous n'osons pas nous permettre de négliger entièrement ce sujet considéré comme très-important par la plupart des minéralogistes. Nous traiterons les parties qui intéressent le plus la philosophie miné-

ralogique et celles qui peuvent être utiles pratiquement dans des circonstances particulières.

Le défaut d'efficacité que nous venons de signaler dans la réfraction est incomparablement plus prononcé dans le caractère qu'on pourrait emprunter à l'*élasticité acoustique;* car ce dernier n'a encore été observé que dans deux espèces minérales. Il ne peut être utilisé d'ailleurs que pour des cristaux volumineux et homogènes, et préparés tout exprès pour ce genre d'épreuve. Nous en dirons cependant quelques mots à cause des curieuses relations qui le lient à la cristallisation.

Les véritables caractères essentiels, c'est-à-dire la *densité* et la *dureté*, ont une grande importance au point de vue de l'histoire naturelle, comme étant complémentaires ou supplémentaires des attributs, et particulièrement de la forme primitive, qui ne se manifeste, en réalité, que dans des circonstances assez rares et exceptionnelles. Ils constituent, avec la forme, une *trinité* puissante et toujours suffisante pour caractériser et pour déterminer une espèce, quel que soit l'état où elle se trouve.

DENSITÉ.

Notions générales. — L'observation la plus vulgaire suffit pour nous apprendre que, à égalité de volume, les corps ont, en général, des poids différents. Tout le monde sait, par exemple, que l'or pèse plus que l'argent, que le plomb pèse plus que le cuivre, celui-ci plus que le marbre et, à plus forte raison, que le charbon et le liége. Une longue habitude d'apprécier des différences de cette nature entre les corps a fait reconnaître aux physiciens que ces différences, ou plutôt ces rapports, sont à peu près constants, et dès lors ils ont conçu la pensée de les mesurer afin de les exprimer en nombre. Pour y arriver, ils supposèrent tous les corps réduits à un même volume et leurs poids exactement déterminés. De là à la densité mesurée ou *poids spécifique* il n'y avait qu'un pas. Il suffisait, en effet, d'évaluer tous les nombres exprimant ces poids en les rapportant à l'un d'eux pris pour unité. Le corps que l'on est convenu d'adopter comme type est l'eau pure à la température de 15° à 18° centigrades, parce qu'il est partout facile de se le procurer avec ces conditions, qui assurent une densité constante. Lors donc que l'on dit qu'un

corps a une densité de 2,7, de 0,8, cela veut dire qu'il pèse, à égalité de volume, deux fois et sept dixièmes ou seulement huit dixièmes de fois autant que l'eau normale (1). Remarquons maintenant qu'il n'est pas besoin, pour arriver à ce résultat, de réduire tous les corps à un volume déterminé; mais qu'il suffit, pour chacun d'eux, de comparer son poids à celui d'un semblable volume d'eau, quelle que soit, d'ailleurs, la forme du corps que l'on veut soumettre à l'expérience.

Pour déterminer le poids spécifique d'un minéral, il suffit donc de le peser, de chercher ensuite le poids d'un semblable volume d'eau, et de diviser le premier résultat par le second. Pour arriver à ce but, il existe trois moyens auxquels correspondent trois instruments, qui sont : la *balance hydrostatique,* la *balance de Nicholson* et le *flacon de Klaproth.* Ces moyens se trouvent décrits dans tous les ouvrages de physique. Nous nous contenterons ici d'exposer le dernier, qui est habituellement employé en minéralogie.

Méthode de Klaproth; ampoule à densité. — Elle consiste à peser dans une bonne balance, suffisamment sensible, un flacon régulièrement bouché et plein d'eau distillée à la température normale, conjointement avec le corps sur lequel on veut opérer, et que l'on place, à cet effet, à côté du flacon dans le plateau de la balance. Cette première pesée étant faite, on retire le flacon et le corps, et l'on introduit ce dernier dans le flacon. Il est évident qu'il déplace un volume d'eau justement égal au sien propre, et, qu'en rebouchant exactement, ce volume de liquide doit se trouver en moins dans l'expérience. Cela fait, on essuie bien le flacon, on le remet sur la balance et l'on pèse de nouveau. On trouve une différence qui fait connaître le poids d'un volume d'eau égal au volume du corps. Divisant par ce nombre le poids du minéral, qui a dû être déterminé d'avance, on a son poids spécifique.

La seule difficulté que présente cette expérience consiste dans la précision qu'il faut apporter à la fermeture du vase exactement

(1) Le mot *densité* exprime, d'une manière générale, le rapport du poids au volume. Toutefois, nous nous en servirons souvent pour désigner la densité mesurée ou rapportée à l'eau, bien que, dans ce cas, nous dussions, à la rigueur, employer l'expression de *poids spécifique.*

plein, soit avant, soit après l'introduction du corps, afin d'avoir un volume constant. M. Regnault a imaginé un petit appareil qui remplit très-bien cette condition indispensable; mais on atteint à peu près le même but, d'une manière plus expéditive, en se servant, au lieu d'un flacon, d'une ampoule de verre (*fig.* 256), munie d'un goulot exactement cylindrique et rodé intérieurement. Le bouchon consiste en un cylindre creux en cristal, rodé à l'extérieur et terminé par un tube court d'un très-petit diamètre. L'ampoule étant pleine d'eau, on y introduit le bouchon également plein, d'où il résulte un excédant qui s'échappe par l'orifice du tube. Dans cet état, le petit appareil doit être entièrement plein jusqu'à cet orifice. La figure représente l'ampoule et le bouchon séparés, celui-ci étant renversé, l'un et l'autre remplis d'eau, le corps ayant été introduit. Ici l'orifice étroit du tube se trouve bouché par un obturateur; mais, dans la pratique, c'est un doigt qui remplit cet office, le pouce et les autres doigts étant employés à tenir le corps du bouchon. On peut aussi boucher l'appareil sous l'eau.

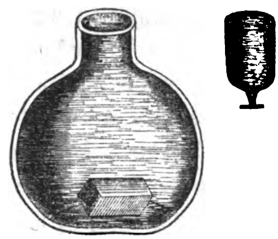


Fig. 256.

Il faut prendre la précaution, lorsqu'on fait l'expérience, de débarrasser le corps des petites bulles d'air qui pourraient y adhérer. On y réussit facilement en l'essuyant ou le brossant, après l'avoir mouillé.

Cas particuliers. — Nous avons supposé, dans l'expérience précédente, que le corps était impénétrable et insoluble dans l'eau. S'il en était autrement, la méthode pourrait encore conduire au résultat moyennant certaines modifications (1).

Dans le cas où le corps serait pénétrable, en restant toutefois insoluble, le procédé, suivi à la lettre, conduirait à la densité de

(1) Il ne s'agit ici que des corps solides, les seuls qu'il y ait lieu de considérer en minéralogie, excepté dans quelques cas très-rares. Si l'on avait à expérimenter sur un liquide, il faudrait peser d'abord l'ampoule pleine d'eau et retrancher de cette pesée le poids du verre, afin d'avoir celui de l'eau seule. On déterminerait de la même manière le poids du liquide en question, et enfin on diviserait ce dernier poids par celui obtenu pour l'eau.

la partie pleine, en admettant que l'eau ait pu pénétrer dans tous les vides plus ou moins irréguliers ou sinueux. Il faudrait, pour avoir la densité réelle, en ayant égard à la structure poreuse, empêcher l'imbibition au moyen d'un enduit imperméable (vernis, gutta-percha) ; autrement on serait obligé de chercher, par différence, le poids de l'eau imbibée qu'il faudrait retrancher de celui du volume d'eau sorti de l'ampoule.

Enfin, pour les minéraux solubles, les sels par exemple, on pourrait les recouvrir préalablement, comme ci-dessus, d'une mince couche de vernis, ou l'on opérerait dans un liquide non susceptible de les dissoudre et dont on connaîtrait exactement le poids spécifique. Soit p le nombre obtenu de cette manière, et désignons par P celui relatif à l'eau distillée, auquel, en définitive, il faut arriver; en appelant d'ailleurs π le poids spécifique du liquide employé, on aurait : $P = p\,\pi$.

Variations de la densité eu égard à la structure. — Le poids spécifique constitue un excellent caractère; mais pour en tirer tout le parti possible et pour éviter même des chances d'erreur en s'en servant, il est essentiel d'avoir égard à la structure des minéraux que l'on compare sous ce rapport. Il résulte, en effet, des expériences de M. Beudant :

1° Que cette propriété varie entre certaines limites, assez peu étendues à la vérité, suivant que l'on opère sur de petits ou sur de gros cristaux, ou sur telle ou telle variété de structure.

2° Que les petits cristaux sont ceux qui donnent les plus grandes valeurs.

3° Que, plus les structures sont grossières et s'écartent de l'état cristallin parfait, plus le poids spécifique diminue.

4° Que la valeur de cette diminution ou de cette différence semble à peu près constante pour tous les minéraux, si l'on considère un même genre de structure, et que, en prenant le terme moyen pour chaque série d'expériences faites par M. Beudant, il faudrait diminuer, dans les proportions suivantes, le poids spécifique pris sur de petits cristaux :

De 0,0175	pour la structure	lamellaire.	
0,0173	—	aciculaire ou fibreuse	(parallèle).
0,0186	—	idem	(radiée).
0,0312	—	idem	(entrelacée).

Les variétés épigènes, où les molécules sont nécessairement groupées comme au hasard et, par conséquent, d'une manière assez irrégulière, sont celles qui donnent les plus faibles valeurs. Ainsi, le poids spécifique des petits cristaux de galène étant 7.7593, celui des prismes hexagonaux provenant de la substitution du sulfure au phosphate de plomb dans la pyromorphite est 7.6107.

En général, ces différences dans les nombres donnés par les petits cristaux, les gros cristaux et les variétés de structure, tiennent aux vides plus ou moins considérables laissés par les éléments agrégés, et l'on en trouve la preuve en déterminant le poids spécifique des diverses variétés réduites en poudre, puisque, dans ce cas, les différences s'évanouissent, les structures les plus grossières donnant alors des résultats à peu près égaux à ceux fournis par les cristaux d'un petit volume. Cette dernière méthode, si on l'appliquait à tous les minéraux, donnerait les résultats les plus absolus et les plus comparables. Toutefois, on ne peut guère l'employer comme moyen de reconnaissance, surtout lorsqu'il s'agit de minéraux précieux. Elle ne conviendrait pas non plus dans le cas où la mesure de la densité devrait servir à la détermination du poids d'un corps dont on connaîtrait d'ailleurs le volume. Le mieux est de tâcher d'opérer sur des cristaux assez petits, et, lorsqu'on est obligé d'agir sur des variétés plus ou moins éloignées de cet état de perfection, de tenir compte des différences, en se servant, avec une prudente réserve, des nombres que nous avons donnés plus haut d'après M. Beudant.

Influence de la substance sur la densité. — On ne sait jusqu'à quel point la densité est liée aux attributs des minéraux. La forme ne paraît pas exercer à cet égard une grande influence ; mais il n'en est pas de même de la substance. En effet, si l'on vient à comparer, d'une manière très-générale, à ce point de vue, les grandes classes de minéraux que la nature semble indiquer, on reconnaît de suite que les espèces qui dérivent de matières organiques ont une densité toujours faible et, dans tous les cas, inférieure à celle des minéraux proprement dits, et que, dans ces derniers, la classe des métaux l'emporte beaucoup, à cet égard, sur celle des pierres. On a remarqué aussi que la présence de l'eau dans la substance d'un minéral tend à abaisser le chiffre qui exprime son poids spécifique.

DURETÉ.

Définition ; moyens d'appréciation de Werner. — La dureté est une propriété en vertu de laquelle les minéraux se refusent plus ou moins à se laisser rayer, entamer ou user.

Werner divisait, sous ce rapport, les corps bruts naturels en quatre classes, indiquées et caractérisées dans le tableau suivant :

DÉSIGNATIONS.	MOYENS D'APPRÉCIATION.	EXEMPLES.
A. Durs.	Ne se laissant pas entamer par le couteau et faisant feu au briquet.	
1° *extrém. durs.*	Résistant à la lime.	Diamant.
2° *très-durs.*	Cédant un peu à la lime.	Spinelle, topaze,
3° *assez durs.*	Cédant à la lime.	quartz.
B. Demi-durs.	Se laissant difficilement entamer par le couteau : point de feu au briquet.	Orthose. Apatite.
C. Tendres.	Se laissant facilement entamer ou tailler par le couteau, mais ne recevant pas l'empreinte de l'ongle.	Calcaire. Barytine.
D. Très-tendres.	Se laissant très-facilement tailler par le couteau et rayer par l'ongle.	Gypse. Talc.

Types de dureté ; leur emploi. — Mohs a perfectionné les moyens d'apprécier la propriété dont il s'agit en rapportant toutes les duretés à dix types, qui sont fournis par autant de minéraux convenablement choisis et espacés. Les minéraux, pour servir de termes de comparaison, ayant un degré suffisant de fixité et de constance, doivent être à l'état de cristaux ou, au moins, de masses cristallines. Voici la liste de ces types avec les numéros correspondants qui peuvent indiquer des degrés de dureté.

TYPES DE DURETÉ DE MOHS.

1. **Talc laminaire.**
2. **Sélénite** (gypse laminaire).
3. **Calcaire** (spath d'Islande).
4. **Fluorine.**
5. **Apatite.**
6. **Orthose** (adulaire).
7. **Quartz hyalin.**
8. **Topaze.**
9. **Corindon hyalin.**
10. **Diamant.**

Les six premiers types de ces minéraux se laisseraient rayer par une pointe d'acier. Les quatre derniers résistent absolument à cette action et raient le verre.

Pour rapporter à ces types la dureté d'un minéral donné, on essaie de le rayer successivement par chacun d'eux, en commençant, bien entendu, par le plus tendre, et, lorsqu'on est arrivé au premier minéral de la série qui remplit cette condition, on dit que la dureté du corps est comprise entre celle de ce dernier type et celle du type immédiatement inférieur. On opère, d'ailleurs, sur une face ou surface du minéral que l'on essaie, par un angle, une arête ou un bord vif de cassure du type que l'on fait agir. On peut essayer d'atteindre une plus grande approximation et connaître, par exemple, si le corps essayé se rapproche plus de l'un des types que de l'autre, en observant s'il entame plus fortement le premier qu'il n'est entamé par le second, ou réciproquement. On peut même arriver à une appréciation plus précise encore en employant le moyen suivant conseillé par Mohs. Il consiste à passer, avec une pression suffisante, mais, du reste, aussi faible que possible, sur la surface d'une lime, qui doit être à la fois très-fine et très-dure, un angle ou un bord aigu du minéral dont on cherche la dureté, et en même temps de celui qui porte, dans l'échelle, le numéro immédiatement supérieur. En comparant les traces laissées par les deux minéraux sur la lime, on peut savoir s'ils sont très-voisins en dureté ou s'ils sont séparés par un intervalle assez considérable. Dans tous les cas, on cherche à évaluer la différence en un chiffre de dixièmes que l'on place à la droite du nombre entier obtenu dans l'épreuve principale.

Il ne faut pas attacher à ces nombres exprimant les duretés la même importance qu'à ceux qui représentent les poids spécifiques, parce que, d'une part, nous n'avons pas ici d'unité fixe, et que, d'un autre côté, quelque bien choisis que l'on suppose les minéraux types, on ne peut pas se flatter d'avoir, de l'un quelconque au suivant, un intervalle toujours constant et correspondant à 1 de différence entre les nombres placés en regard.

Variations de la dureté. — Nous avons vu que le poids spécifique variait suivant les différentes structures des minéraux cristallins. Il en est de même de la dureté, et l'on doit bien s'attendre à trouver ici des variations encore plus marquées et moins

susceptibles d'être appréciées ; aussi ne donnons-nous le caractère que nous étudions comme suffisamment exact que pour les cristaux ou pour des masses ayant la structure cristalline. En général, la dureté d'un minéral augmente à mesure qu'il s'approche de l'état cristallin le plus parfait. Toutefois, le mode d'agrégation moléculaire, qui constitue les concrétions, produit aussi une dureté normale ; il peut même arriver que, dans cet état concrétionné, un minéral soit plus dur que dans l'état cristallin, circonstance qui dépend peut-être de l'influence du clivage. Dans la plupart des minéraux amorphes qui se rattachent plus ou moins à l'une ou à l'autre des deux catégories précédentes, la dureté est diminuée en général, mais jamais au delà d'un certain terme qui ne s'éloigne pas assez de la dureté normale pour que le caractère perde sa valeur. Il n'y a réellement que dans les variétés terreuses, qui ne sont pas, à proprement parler, de véritables minéraux, qu'il faut renoncer à son emploi.

Si l'on vient à étudier de près ce caractère dans les minéraux parfaits ou cristallisés, on reconnaît des variations plus délicates que les précédentes et qui offrent de l'intérêt à cause de leur rapport évident avec la structure des cristaux. Celles de ces variations qui ont été étudiées jusqu'à présent se rapportent aux diverses parties d'un même cristal et aux divers sens cristallographiques suivant lesquels on peut opérer la rayure de la part d'un corps type ou d'un instrument.

Nous donnons ici les principaux résultats obtenus par MM. Frankenheim et Roth, qui ont traité ce sujet dans un mémoire spécial.

1° Dans tous les cristaux, la dureté varie suivant les divers plans ou lignes cristallographiques ;

2° Dans un même cristal, la dureté est la même sur toutes les lignes d'égale valeur cristallographique ;

3° Les sens de clivages et leur facilité plus ou moins grande exercent une notable influence sur la position des lignes de maximum et de minimum de dureté ;

4° La force avec laquelle les faces sont attaquées par les acides, les dissolutions salines et l'eau, est en rapport avec la dureté de ces faces et avec la cohésion des particules dont elles se composent.

Comme application ou, si l'on veut, comme preuve à l'appui de ces principes généraux, nous citerons les observations de Mohs sur le *disthène*. Cet illustre minéralogiste a avancé que les faces

des cristaux prismatiques de ce minéral se laissaient rayer par la fluorine, tandis que les angles pouvaient entamer l'apatite et même l'orthose. S'il existait chez tous les minéraux des variations aussi considérables, le caractère que nous étudions perdrait beaucoup de sa valeur ; mais heureusement il n'en est pas ainsi; et, si l'on peut dire que, en général, les angles et les arêtes d'un cristal quelconque sont plus durs que les faces, rien ne nous autorise à admettre des différences aussi grandes. Le fait que nous signalons n'est aussi prononcé que dans le disthène dont le nom, qui signifie *double force*, indique d'ailleurs, une autre propriété exceptionnelle analogue à la précédente, mais relative à l'électricité.

Quant à la variation du caractère, eu égard à la direction suivant laquelle on opère, elle a été reconnue par Mohs, qui a trouvé que, sur une même face d'un cristal donné, la résistance à la rayure n'était pas exactement la même transversalement et dans le sens longitudinal. La fluorine cubique, dont les clivages conduisent à un octaèdre régulier, se laisse plus facilement rayer dans le sens des diagonales des faces du cube que parallèlement aux côtés, tandis que l'inverse aurait lieu dans la galène dont le clivage est cubique. Il y a même des différences de dureté qui tiennent au sens dans lequel on opère la rayure. Ainsi le calcaire cristallisé en rhomboèdre primitif se laisse rayer plus profondément par une pointe d'acier dans la direction d'une diagonale oblique, si l'on opère en remontant, que dans le sens inverse.

Ces faits, au reste, ne sont qu'une conséquence de la structure moléculaire que nous avons admise comme la base de la constitution des cristaux. Ainsi, dans l'exemple qui vient d'être cité et qui a été indiqué pour la première fois et même très-bien expliqué par Huyghens, si l'on se rappelle que le rhomboèdre primitif du calcaire est composé de petits rhomboèdres régulièrement agrégés, on reconnaîtra sans peine qu'une des faces supérieures de ce cristal offrira un ensemble de petites écailles imbriquées sur le dos desquelles une pointe devra plus ou moins glisser en descendant, tandis que la même pointe, en remontant dans la même direction, rencontrera et prendra les mêmes écailles par-dessous avec une tendance à les soulever et à les séparer.

L'étude des cristaux hémièdres a conduit M. Delafosse à reconnaître encore des différences de dureté dans les parties affectées par des dissymétries cristallographiques. Ainsi, d'après ce savant

cristallographe, les angles de la boracite, situés aux extrémités d'une même diagonale du cube, ne raient pas les corps avec la même intensité. Une lame de blende, taillée perpendiculairement à une face du tétraèdre, n'a pas la même dureté dessus et dessous. De chaque côté d'une de ces arêtes, le cube de la pyrite ne se laisse pas entamer de la même manière, parallèlement à cette arête, sur les faces qui la forment par leur intersection.

Influence générale de la substance sur la dureté. — On n'a pas encore bien étudié la question de savoir s'il existe une relation générale entre la substance et la dureté. On peut faire cependant, à cet égard, quelques remarques intéressantes. Ainsi, la présence d'un minéralisateur énergique dans une combinaison paraîtrait accroître la dureté du corps qu'il minéralise. Le fer, par exemple, est moins dur que ses oxydes naturels (aimant, oligiste) et que son sulfure (pyrite); la galène raie le plomb. Une influence contraire est attribuée à l'eau, et celle-ci est encore plus constante et plus manifeste. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer le gypse et la limonite à l'anhydrite et à l'oligiste, espèces qui ne diffèrent des premières que par l'absence de l'eau; de même, le quartz hyalin est plus dur que l'opale. Tout le monde connaît la faible dureté des talcs et des chlorites dans lesquels il entre essentiellement une proportion d'eau considérable. Je pourrais encore citer, comme ayant une dureté au-dessous de la moyenne, les minéraux pierreux hydratés qu'on appelle *zéolites*.

Épreuve par le choc du briquet. — Nous avons vu que Werner admettait l'action du briquet comme moyen d'apprécier la dureté. Cependant cette propriété de faire jaillir du feu par le choc de l'acier dépend, non-seulement de la dureté, mais encore d'un état spécial de la cohésion des minéraux; de telle sorte que tel corps, plus dur réellement qu'un autre, donnera cependant moins d'étincelles : témoin le diamant, qui est très-inférieur, sous ce rapport, au quartz, lequel le cède à son tour au silex, bien que le silex soit moins dur que lui. Malgré cette imperfection, le briquet est souvent et utilement employé en géognosie, surtout pour faire distinguer les roches siliceuses des roches calcaires ou feldspathiques.

RÉFRACTION.

RÉFRACTION SIMPLE.

Lois de la réfraction simple. — Lorsqu'un rayon de lumière tombe normalement sur un minéral diaphane, il le traverse et sort de l'autre côté sans avoir éprouvé aucune déviation. Mais, s'il rencontre la surface du corps dans une direction oblique, les choses se passent autrement ; le rayon se brise en pénétrant dans la masse et se rapproche de la perpendiculaire au point d'incidence, dans le cas où le corps est plus dense que l'air, ce qui arrive toujours en minéralogie. Cette propriété de la lumière a reçu le nom de réfraction, du mot latin *refractus*, qui signifie *brisé*. C'est par elle que les images des objets se trouvent déplacées et que leurs formes même paraissent altérées lorsqu'on les regarde à travers deux faces cristallines formant entre elles un certain angle. C'est encore à cette propriété qu'il faut attribuer la brisure apparente d'une verge que l'on plonge obliquement dans l'eau. On nomme angles d'incidence et de réfraction les angles formés par le rayon, avant ou après la réfraction, avec la normale au point d'incidence. L'expérience a prouvé que ces angles se trouvent tous deux dans un même plan passant par la normale, et que, dans toutes les positions possibles du rayon incident, il existe entre leurs sinus, pour un même corps, un rapport constant que l'on nomme *indice de réfraction*.

Indice de réfraction. — Ce rapport varie d'un corps à un autre et dépend, non-seulement de la densité, mais encore de l'état moléculaire et de la cristallisation ; on a remarqué même que sa valeur était exaltée, toutes choses égales d'ailleurs, dans les corps combustibles. Il résulte de là que l'indice de réfraction tient aux propriétés les plus essentielles des minéraux, et qu'il pourrait jouer, en minéralogie, un rôle important s'il était plus facile à apprécier, d'une part, et s'il n'exigeait pas, d'ailleurs, des conditions de pureté et de diaphanéité que l'on rencontre rarement dans les cristaux naturels. Toutefois, les physiciens ont déterminé l'indice de réfraction d'un certain nombre d'espèces, et nous consignons ici les résultats qui peuvent donner lieu à quelques considérations utiles.

TABLEAU DES INDICES DE RÉFRACTION DE QUELQUES ESPÈCES MINÉRALES.

NOMS DES MINÉRAUX.	INDICES DE RÉFRACTION.	DENSITÉS.
Crocoïse (plomb chromaté). . . *maximum*.	2,974	6
Diamant.	2,470	3,55
Soufre. . . . . *moyenne*. .	2,115	2,3
Céruse. . . . . *maximum*.	2,074	6,6
Zircon. . . . . *R. ordinaire*. .	1,950	4,6
Rubis spinelle.	1,812	3,5
Grenat.	1,810	3,6
Corindon. { Saphir bleu. . . . *moyenne*. .	1,794	4
Corindon. { Rubis oriental. . . *Id.*	1,779	
Corindon. { Saphir blanc. . . *Id.*	1,768	
Calcaire. . . . . *R. ordinaire*. .	1,658	2,7
Aragonite. . . . . *maximum*.	1,686	2,9
Tourmaline. . . . . *moyenne*. .	1,668	3,1
Topaze blanche. . . . . *maximum*.	1,624	3,5
Sel gemme.	1,557	2,25
Quartz. . . . . *R. ordinaire*. .	1,544	2,65
Feldspath adulaire. . . . . . . *maximum*.	1,526	2,57
Opale.	1,479	2,1
Fluorine.	1,434	3,1

En jetant un coup d'œil sur ce tableau, dans lequel nous avons introduit une colonne pour la densité, on voit d'abord que cette propriété semble influer sur la valeur de l'indice, bien qu'il y ait, à cet égard, des exceptions ou des compensations. Ainsi, le diamant, qui n'a rien de remarquable sous le rapport de la densité, a un indice plus fort que tous les autres minéraux, sauf cependant la crocoïse, ce qu'il doit, sans doute, à sa nature combustible. Il en est de même du soufre, dont l'indice est très-élevé eu égard à son poids spécifique.

On remarquera que l'espèce corindon est représentée ici par

trois sortes ou variétés, dont deux sont colorées. Nous avons voulu ainsi montrer l'influence des matières colorantes, qui tendent, en général, à exalter un peu la valeur de l'indice.

Enfin, la comparaison des chiffres qui se rapportent au calcaire et à l'aragonite nous apprend encore que ces deux minéraux isomères diffèrent relativement à la réfration, comme sous le rapport de toutes leurs autres propriétés physiques.

RÉFRACTION DOUBLE.

Expérience fondamentale. — Nous avons supposé, dans l'article précédent, que les minéraux diaphanes ne produisaient qu'une déviation sur le rayon qui les traverse. Le phénomène se produit, en effet, simplement, comme nous l'avons dit, pour un certain nombre d'espèces; mais il en est un plus grand nombre encore pour lesquelles les choses se passent d'une manière plus complexe. Dans les corps de cette seconde catégorie, non-seulement le rayon incident oblique se brise en y pénétrant, mais encore il se divise en deux parties, de telle manière qu'un objet quelconque, et surtout un petit objet, vu à travers ces corps dans des directions convenables, paraît double. C'est ce que l'on peut vérifier en plaçant sur une ligne noire, par l'une de ses faces, un rhomboèdre de clivage de calcaire limpide (spath d'Islande) : cette ligne paraîtra double, en général, si l'on regarde par la face opposée.

Division des minéraux en deux groupes à ce point de vue. — Nous venons de dire que la propriété de réfracter doublement la lumière n'appartient pas à tous les minéraux. Haüy a fait voir qu'elle était intimement liée à la forme cristalline et qu'elle pouvait servir à établir deux grandes divisions dans les cristaux. La première comprenant tous ceux qui appartiennent au système régulier (1), et la seconde se composant de tous les corps naturels cristallisés qui se rapportent aux cinq autres systèmes. D'après cela, il aurait suffi de chercher si un minéral avait ou non la propriété de doubler les objets, vus au tra-

(1) Cette absence de double réfraction se remarque aussi dans les corps qui ne cristallisent pas, comme le verre.

vers de sa masse, pour savoir de suite s'il dépendait du premier ou des cinq derniers groupes cristallins, notion précieuse dans un assez grand nombre de cas.

Malheureusement, les anomalies assez fréquentes que l'expérience a fait découvrir dans ces derniers temps ne nous permettent plus de compter entièrement sur ce moyen de distinction, que l'on peut encore employer, toutefois, pourvu que l'on mette une grande prudence dans les conséquences qu'on croira pouvoir en tirer. Ainsi, le sel gemme, l'alun, le diamant, la fluorine, l'analcime, qui, d'après la loi que nous avons citée, ne devraient jamais réfracter la lumière que d'une manière simple, donnent assez souvent la double réfraction, et cette différence se présente, non-seulement d'un cristal à un autre, mais encore dans diverses parties d'un même individu. Il est vrai que dans un cristal régulier parfaitement homogène ces anomalies ne pourraient exister ; et M. Biot, d'ailleurs, pense qu'il faut les attribuer à l'influence de systèmes lamellaires particuliers et adventifs contenus dans la masse des cristaux, et qui agiraient sur la lumière indépendamment des phénomènes dus à l'état moléculaire normal et conjointement avec eux ; mais ces perturbations de la structure sont bien difficiles, pour ne pas dire impossibles, à distinguer, au moins par les moyens ordinaires de la minéralogie ; et, bien que l'explication de M. Biot puisse peut-être satisfaire la théorie, elle ne saurait affranchir le minéralogiste de l'incertitude où il devra nécessairement se trouver toutes les fois qu'il cherchera à appliquer la règle de Haüy à la reconnaissance d'une masse cristalline naturelle.

Loi de la double réfraction. — Si l'on fait varier l'angle d'incidence du rayon destiné à traverser un cristal doué de la double réfraction, un rhomboèdre de spath d'Islande, par exemple, et que l'on étudie la manière dont se comportent les deux rayons réfractés, on remarque que l'un des rayons, celui qui est le plus rapproché de la normale, dans le cas que nous supposons, suit la loi de la réfraction ordinaire, c'est-à-dire qu'il est dans le plan déterminé par la normale et le rayon incident, et que son sinus est à celui de l'angle d'incidence dans un rapport constant, tandis que le rayon le plus écarté ne remplit ni l'une ni l'autre de ces deux conditions, excepté cependant dans des positions particulières. Dès lors on désigne ce dernier par le nom de

rayon extraordinaire, et l'on nomme *rayon ordinaire* celui qui est assujéti à la loi que nous venons de rappeler.

Axes de double réfraction. — Le phénomène de la double réfraction ne se manifeste pas dans tous les sens où le minéral peut être traversé par le rayon lumineux. Si l'on opère, par exemple, sur deux faces taillées perpendiculairement à l'axe aux deux angles culminants d'un rhomboèdre de spath d'Islande, ou, ce qui revient au même, si l'on prend un cristal secondaire ayant la forme d'un prisme hexagonal régulier et qu'on le pose, par une de ses bases, sur une feuille de papier où l'on aura marqué d'avance une ligne noire : en plaçant l'œil perpendiculairement au-dessus de la base opposée, on ne verra qu'une seule image, dans quelque sens d'ailleurs que le cristal soit tourné autour de son axe ; mais il suffira, pour en apercevoir deux, d'écarter l'œil d'un côté ou de l'autre de la perpendiculaire. Une observation semblable, faite à travers le prisme couché, en regardant par deux faces latérales opposées, conduit à un résultat analogue, avec cette différence, toutefois, que les deux images ne se réunissent pas, comme dans l'expérience précédente, dans toutes les positions qu'on pourrait faire prendre au cristal, mais seulement dans le cas où il serait tourné de manière que son axe se trouvât parallèle ou perpendiculaire à la ligne noire.

La réfraction extraordinaire semble donc émaner de l'axe cristallin et se comporter, à son égard, comme la réfraction ordinaire par rapport à la normale en un point d'incidence quelconque, et les choses se passent comme si cet axe repoussait ou attirait, suivant la nature des corps, une partie du rayon au moment où il pénètre dans leur intérieur. C'est pour exprimer ce rôle, que semble jouer ici l'axe relativement à la lumière, qu'on lui a donné le nom d'*axe de double réfraction*.

Les minéraux qui ont un axe principal dominant, autour duquel toutes les parties des cristaux sont égales et équidistantes, ou, en d'autres termes, les minéraux qui dépendent des systèmes tétragonal et hexagonal, n'ont aussi qu'un axe de double réfraction qui se confond avec l'axe de figure ; mais, pour les corps qui cristallisent dans les trois derniers systèmes, il y a deux axes de double réfraction. En nous bornant à considérer ici le cas du système ortho-rhombique, qui est sans contredit le plus intéressant, nous

dirons que les deux axes y sont disposés obliquement, mais cependant avec une symétrie particulière qui peut se traduire par ce fait que la ligne moyenne qui diviserait en deux parties égales l'angle de ces axes se confondrait avec l'un des axes cristallins rectangulaires qui caractérisent ce système. Ainsi, dans la topaze, qui cristallise habituellement en prismes rhomboïdaux droits plus ou moins modifiés aux sommets (quatrième système), si l'on regarde un point à travers deux facettes *a, c* ou *b, d* (*fig.* 257) interceptant, sous une certaine inclinaison, les angles aigus du prisme, on ne verra, dans l'une ou l'autre de ces deux positions, qu'une image simple, de quelque manière qu'on tourne le prisme autour d'une droite perpendiculaire aux facettes dont il s'agit.

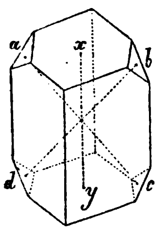


Fig. 257.

Il y aura donc deux axes de double réfraction *ac* et *bd*, et il est facile de voir que la ligne moyenne *xy* se confondra avec l'axe de figure du prisme.

Pour ces minéraux qui possèdent deux axes de double réfraction, la nature des rayons en lesquels le rayon incident se divise, en pénétrant dans le corps obliquement à ces axes, n'est pas non plus la même que pour les cristaux des deux premiers systèmes précédemment cités. Dans les cristaux de cette sorte, les deux rayons réfractés n'obéissent, ni l'un ni l'autre, à la loi fondamentale de la réfraction ordinaire; ils méritent donc, tous les deux, le nom de *rayons extraordinaires*.

Résumé de la double réfraction. — Nous pouvons résumer de la manière suivante les notions qui viennent d'être données sur la double réfraction considérée au point de vue de la minéralogie proprement dite.

1° Il arrive habituellement que les corps non cristallisés, ou ceux dont les cristaux appartiennent au système régulier, n'offrent aucun indice de double réfraction. On connaît, toutefois, un assez grand nombre de minéraux dépendant de cette dernière catégorie dans lesquels se manifestent, tantôt la réfraction simple, tantôt la réfraction double. Cette variation, qui, à la vérité, doit être considérée comme adventive, se remarque, non-seulement d'un individu à l'autre, mais même entre les différentes parties d'un même individu.

2° Tous les minéraux dont les cristaux dépendent des cinq derniers systèmes donnent constamment la double réfraction.

3° Ceux qui se rapportent aux systèmes tétragonal et hexagonal, qui ont un axe principal autour duquel tout est égal et symétriquement disposé, ne possèdent qu'un axe de double réfraction qui se confond avec l'axe de figure (1).

4° Les corps dont les cristaux rentrent dans les systèmes quatrième, cinquième et sixième, ont deux axes optiques ; ceux du système ortho-rhombique sont situés dans le plan de l'axe principal cristallographique et font avec cet axe, de part et d'autre, des angles égaux.

Malgré les exceptions que nous avons signalées, dont le nombre pourra s'accroître beaucoup par la suite, ces lois, pourvu qu'on ne les considère pas comme absolues et qu'on s'en serve avec prudence, peuvent être fort utiles pour reconnaître le groupe cristallin auquel un minéral diaphane appartient, lorsque la forme extérieure n'est pas suffisamment caractérisée. Ainsi, en vertu de la deuxième loi, on trouvera que l'essonite de Haüy, qui n'offre aucun indice de réfraction double, appartient au groupe régulier, et que, par conséquent, ce minéral diffère essentiellement du zircon, qui porte, comme lui, dans le commerce de la joaillerie, le nom d'hyacinthe. De même, le calcaire et le quartz, dans lesquels on n'a, jusqu'à présent, reconnu qu'un seul axe de double réfraction, ne pourraient être confondus avec l'aragonite et la topaze blanche, qui en ont deux.

Moyens directs d'observation. — Ces considérations sont bien propres à nous faire désirer des moyens simples et sûrs pour déterminer si un corps est ou non doué de la double réfraction, et, dans le premier cas, s'il possède un ou deux axes. Malheureusement, les procédés que les physiciens nous indiquent nécessitent ordinairement que l'on fasse naître sur les cristaux des faces artificielles, et, souvent, qu'on les fasse tailler en plaques disposées de telle ou telle manière par rapport aux axes cristallins, conditions, comme on le voit, très-peu minéralogiques. Nous

(1) On connaît, toutefois, quelques exceptions ; ainsi, l'apophyllite, dont les cristaux dépendent du système tétragonal, offre, tantôt un axe, tantôt deux, quelquefois, dans un même individu.

allons cependant faire connaître les plus simples et les plus applicables de ces moyens.

Lorsqu'il ne s'agit que de reconnaître l'existence ou l'absence de la double réfraction, on peut souvent réussir, en regardant tout simplement un petit objet à travers le minéral que nous supposons cristallisé, l'œil étant placé tout près de l'une des faces réfringentes; mais alors il faut éviter de prendre des faces parallèles pour surfaces d'incidence et d'émergence des rayons; il est nécessaire, dans le plus grand nombre des cas, de choisir deux plans qui fassent entre eux un certain angle. Plus l'angle est ouvert, plus les images sont écartées lorsque la réfraction doit être double. Dans les gemmes taillées, on peut profiter, pour faire l'expérience, de deux facettes remplissant la condition qui vient d'être énoncée. Trop souvent, on sera obligé de faire préparer, sur le minéral, une ou deux facettes exprès pour cette épreuve.

Haüy, qui, le premier, a introduit ce genre d'expériences dans la minéralogie, conseille de prendre pour point de mire la flamme d'une bougie placée à une certaine distance, et, pour éviter l'irradiation qui nuirait à la netteté des images, de placer, sur la face du cristal opposée à l'œil, une carte percée d'un très-petit trou qui joue alors le rôle de diaphragme. Ce moyen suppose que l'on opère le soir; mais on peut aussi faire l'expérience le jour; dans ce cas, le point de mire doit être un petit objet, une épingle, que l'on tient horizontalement et que l'on fait mouvoir de bas en haut. Si le minéral sur lequel on opère est biréfringent à un certain degré, on arrivera à une position dans laquelle on verra deux images superposées de l'épingle. Ces épreuves réussissent pour certains corps, même lorsqu'on place l'objet que l'on regarde au travers tout près de leur surface; mais ordinairement il est nécessaire de l'éloigner plus ou moins; car, à mesure que la distance de l'objet augmente, les images se séparent davantage, en perdant, toutefois, de leur netteté.

Notion fondamentale de la polarisation. — Il existe un autre genre d'épreuves, moins direct que celui qui vient d'être indiqué, et qui conduit à des résultats plus nets et plus curieux; mais il exige, dans la plupart des cas, la préparation préalable des minéraux en plaques minces perpendiculaires à l'axe cristallin.

Ces épreuves sont basées sur une modification que la lumière éprouve en se réfléchissant, sous un certain angle, à la surface d'un corps poli et brillant, ou en traversant un minéral doué de la double réfraction, modification qui a reçu le nom de *polarisation*. Voici l'expérience fondamentale sur laquelle est basée ce genre de phénomène, qui a acquis une si grande importance entre les mains de Malus et de ses successeurs.

Si l'on reçoit, sous un angle de 35° 25′, un rayon de lumière sur une lame de verre noirci, ce rayon s'y réfléchit en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence, et se trouve modifié, ou, comme on dit, *polarisé*, de telle manière qu'il refuse de se réfléchir de nouveau sur une seconde glace inclinée comme la première, lorsque le plan dans lequel devrait se faire cette seconde réflexion est perpendiculaire à celui qui contenait le rayon incident et le premier rayon réfléchi. Dans toute autre position, la seconde réflexion a lieu; seulement elle est d'autant plus faible que le plan qui la contient s'approche plus de la position normale que nous venons de signaler.

L'angle sous lequel un rayon peut être ainsi complétement polarisé est fixe pour un même corps; mais il varie d'un corps à un autre et l'on pourrait même le faire servir à caractériser certains minéraux (1).

La réflexion, sous un angle déterminé, n'est pas le seul moyen que l'on ait pour polariser la lumière; on y parvient encore, comme nous l'avons annoncé ci-dessus, en la faisant tout simplement traverser un corps doué de la double réfraction, et même, dans ce cas, les deux rayons en lesquels se divise le rayon incident en pénétrant dans le corps réfringent, se trouvent, en général, polarisés en même temps et en sens inverse, de telle manière que l'un refuserait de pénétrer dans un corps doublement réfringent par le côté où l'autre y entrerait facilement, et *vice-versâ*.

C'est sur ce dernier mode de polarisation et aussi sur une pro-

(1) Il est remarquable que le diamant, dans lequel nous avons déjà signalé plusieurs propriétés maxima ou exceptionnelles, se distingue encore, sous ce dernier point de vue, des autres minéraux, et particulièrement des gemmes. Son angle de polarisation n'est que de 21° 59′, tandis que la valeur de ce même angle s'élève à 27° pour le zircon, à 29° 35 pour le spinelle, et à 31° 26′ pour la topaze.

priété spéciale de la tourmaline que sont principalement fondées les épreuves que nous avons annoncées en commençant cet article.

Emploi de la pince à tourmaline. — La tourmaline, dont les cristaux dépendent du système hexagonal, et qui, par conséquent, divise en deux un rayon qui pénètre dans son intérieur, jouit de la singulière propriété, lorsqu'elle est taillée en plaques parallèles à son axe cristallin, d'éteindre plus ou moins ou d'absorber l'un des rayons résultant de cette division et de laisser passer l'autre, qui se trouve alors polarisé dans un certain sens. Il résulte de là que, si l'on applique une seconde lame contre la première, le rayon polarisé, en sortant de celle-ci, traversera l'autre sans obstacle si elle est parallèle ; mais il ne pourra y pénétrer si elle a été placée perpendiculairement; de sorte que l'endroit du croisement, interposé entre l'œil et la lumière, paraîtra obscur.

Les choses étant supposées dans cet état, si l'on place entre les deux lames un corps à réfraction ordinaire, comme il n'a aucune action bien sensible sur la lumière polarisée, rien ne sera changé au résultat précédent; mais il n'en sera plus ainsi lorsque l'on interposera un corps doublement réfringent, parce que celui-ci forcera, en général, le rayon modifié par la première tourmaline à se diviser en deux nouveaux rayons polarisés en sens inverse, dont l'un, au moins, pourra traverser la tourmaline qui se trouve du côté de l'œil; dès lors l'endroit du croisement deviendra plus ou moins clair.

Pour faire commodément cette expérience, on emploie la pince à tourmalines (*fig.* 258). C'est une pince ordinaire composée d'un gros fil d'argent ou de cuivre bouclé au milieu de sa longueur et croisé de manière que ses deux extrémités s'appliquent naturellement l'une contre l'autre, en exerçant une pression mutuelle. Ces extrémités sont disposées en cercles, dont chacun embrasse un anneau qui encadre lui-même une rondelle de liége portant, vers la partie centrale, l'une des lames de tourmaline. Ces anneaux peuvent, d'ailleurs, librement tourner dans le cercle qui les embrasse, de manière qu'il soit facile d'amener les deux tourmalines dans

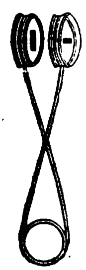


Fig. 258.

toutes les positions parallèles au plan du cercle. Les minéraux que l'on veut éprouver se placent entre les deux rondelles, où ils sont maintenus par la seule force du ressort de la pince. La figure représente ces rondelles écartées par une pression exercée sur la partie inférieure, prêtes à recevoir entre elles le corps sur lequel on veut agir, les directions des lames de tourmaline étant perpendiculaires, l'une horizontale, l'autre verticale.

On peut soumettre les minéraux à cette épreuve, à la rigueur, sans rien changer à leur forme naturelle, pourvu qu'ils soient d'un petit volume et qu'ils n'aient pas une grande épaisseur; mais il est bien mieux de les faire disposer préalablement en lames minces. Dans beaucoup de cas, on peut employer des lames obtenues par le clivage.

Le petit appareil que nous venons de décrire peut aussi servir à donner d'utiles indications sur la question de savoir si un corps doublement réfringent a un ou deux axes. Pour y parvenir, il faut se procurer une lame du minéral que l'on veut éprouver, taillée perpendiculairement à l'axe cristallin, et la placer entre les deux tourmalines croisées. Alors, si le minéral ne possède qu'un axe réfringent, on aperçoit directement un système d'anneaux colorés circulaires et concentriques, traversé généralement par une croix noire plus ou moins apparente dont les bras s'épanouissent, à leurs extrémités, sous la forme d'un plumet (*fig.* 259).



Fig. 259.

Si le minéral a deux axes, il y aura deux séries d'anneaux colorés placés de part et d'autre de la ligne moyenne que nous supposons confondue avec l'axe cristallin. Chacune de ces séries sera composée d'anneaux concentriques, mais elliptiques généralement, et traversée par une bande noire unique. L'écartement de ces anneaux indique l'angle des deux axes et paraît varier suivant la nature des minéraux. Lorsque cet angle est inférieur à 20° ou 25°, on peut voir simultanément les deux systèmes d'anneaux dans l'appareil. Dans ce cas assez rare, et dont la céruse (plomb carbonaté, H) offre un très-bon exemple, les deux séries d'anneaux

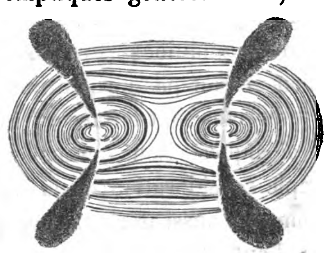


Fig. 260.

sont, pour ainsi dire, confluentes, et consistent en deux noyaux elliptiques entourés de courbes sinueuses colorées qu'on nomme *lemniscates,* et chaque bande noire est rejetée vers l'extérieur en affectant la forme d'une courbe hyperbolique (*fig.* 260). Si l'écartement des axes dépasse cette limite, il n'est plus possible d'observer ces systèmes que successivement, en faisant varier la position de l'œil, ou celle de la plaque, entre les deux tourmalines.

Cette épreuve peut être utile lorsqu'on a des doutes sur l'espèce à laquelle appartiennent certaines lames de clivage perpendiculaires à l'axe des cristaux (calcaire, topaze, émeraude). Elles peuvent servir aussi à faire des distinctions, auxquelles on a attaché peut-être une trop grande valeur, entre les micas, qui se comportent d'une manière très-variable sous le rapport optique. Lorsque les lames de clivage ne sont pas perpendiculaires à l'axe, on peut réussir encore, dans un certain nombre de cas, à reconnaître le genre et l'espèce de leur réfraction en les inclinant entre les lames de tourmaline, de manière à amener l'axe dans une position à peu près perpendiculaire.

Autres propriétés relatives à la double réfraction et à la polarisation. — Dans les traités de physique, on donne des moyens pour mesurer l'écart des axes de double réfraction et le diamètre des anneaux. On connaît aussi des méthodes pour s'assurer si, dans un minéral doué de la double réfraction à un axe, le rayon extraordinaire s'écarte plus ou moins de cette ligne que le rayon ordinaire, c'est-à-dire si l'axe est *répulsif* ou *attractif.* Enfin on a déterminé, pour un certain nombre de corps, l'angle de polarisation. Mais il nous semble que toutes ces recherches sont entièrement du ressort de la physique, et nous pensons même qu'il serait imprudent de se servir, pour les déterminations, des résultats qu'on pourrait en tirer, parce qu'on ne sait pas jusqu'à quel point des propriétés si délicates et si indirectes sont en accord avec les caractères véritablement minéralogiques. Nous ferons observer, au reste, que, si dans la simple considération de la double réfraction, on a découvert des anomalies aussi importantes que celles que nous avons signalées plus haut, il faudrait s'attendre à en rencontrer de bien plus graves encore, si l'on étudiait ces propriétés indirectes dans un grand nombre d'espèces, en opérant, pour chacune, sur toutes ses va-

riétés et même sur beaucoup d'individus. Pour citer quelques exemples, nous rappellerons que, dans le cours de ses recherches, M. Brewster a rencontré des cristaux du groupe régulier qui présentaient la réfraction double avec des axes tantôt attractifs, tantôt répulsifs. L'observation de l'écart des axes dans les topazes donne des résultats flottant entre 43° et 65°, et, dans les micas, qui, à la vérité, ne forment pas une espèce bien déterminée, on serait conduit à plus de trente types différents, si l'on se basait sur les considérations optiques dont il est ici question.

Au reste, ces épreuves ont l'inconvénient de ne bien réussir qu'avec un assez petit nombre de corps, en les supposant même purs et diaphanes, et beaucoup d'entre elles exigent qu'on remplisse préalablement des conditions qui supposent déjà la connaissance au moins d'un axe cristallin. Nous ne parlons pas de l'immense inconvénient d'être obligé, dans la plupart des cas, de sacrifier les minéraux pour les faire disposer, à grands frais, en plaques convenables.

C'est en ayant égard à ces anomalies et inconvénients que nous avons placé les propriétés qui viennent d'être étudiées après la densité et la dureté qui, tout bien considéré, restent les plus constantes et les plus pratiques.

ÉLASTICITÉ ACOUSTIQUE.

Notions générales. — Si l'on divise une corde, tendue au moyen d'un chevalet qui la touche sans la presser, en deux parties dont l'une soit le tiers ou le quart de l'autre, et qu'on mette la portion la plus courte en vibration, l'autre portion se divisera d'elle-même en deux ou trois parties, qui se mettront à vibrer en même temps que la première et de la même manière, de telle sorte qu'il existera, de ce côté, un ou deux points immobiles ou *nœuds* de vibration. Une division semblable s'opère même dans une corde que l'on fait vibrer sans l'avoir préalablement divisée, comme, par exemple, l'*ut* du violoncelle ; car tout le monde sait que, pour une oreille un peu exercée, cette corde rend, outre le son principal, plusieurs sons beaucoup plus faibles, et notamment la double quinte et la triple tierce, ce que l'on ne peut expliquer raisonnablement qu'en admettant qu'il se forme alors, dans la longueur de la corde, des divisions et des vibrations partielles et

secondaires, et par conséquent plusieurs séries de nœuds, qui n'empêchent pas toutefois les vibrations générales dont l'effet demeure prédominant.

Lorsque le corps mis en vibration est une plaque d'une largeur très-appréciable relativement à la longueur, ce ne sont plus des points immobiles que l'on remarque, mais bien des lignes offrant, suivant les cas, des formes ou des positions différentes, et l'on a pour les déterminer un moyen bien simple que l'on doit à Galilée. Ce moyen consiste à saupoudrer la surface supérieure de la plaque supposée horizontale d'un peu de sable très-fin et très-sec. Les choses étant dans cet état, si l'on a pris soin de presser et d'assujétir solidement, au moyen d'une pince convenable, le centre ou un autre point intérieur de la plaque, et qu'on la frotte par un point de ses bords libres au moyen d'un archet, il se produira un son déterminé et l'on verra le sable entrer en mouvement, sauter, retomber en paraissant fuir les parties vibrantes, pour se réfugier suivant certaines lignes droites ou courbes où il finira par rester à peu près stationnaire. Ces lignes sont évidemment le lieu du minimum de mouvement, de chaque côté duquel se font les vibrations. On les nomme *lignes nodales*.

Chladni, qui a fait une belle suite d'expériences sur ce sujet, avait reconnu que, pour des corps parfaitement homogènes, comme certains métaux, taillés en plaques circulaires d'une épaisseur bien uniforme, on obtenait, pour lignes nodales, des diamètres divisant la circonférence en quatre, six, huit... parties égales, ou des cercles concentriques plus ou moins nombreux; tandis que, pour des corps ayant une structure moléculaire différente dans tel ou tel sens, comme le bois, les lignes nodales étaient moins nombreuses et occupaient une position fixe et déterminée, ce qui n'arrivait pas dans le premier cas.

Expérience de Savart sur le quartz. — Savart, partant de cette remarque importante, a eu l'idée de l'appliquer à l'étude des cristaux dont les molécules sont régulièrement groupées par rapport à certains axes. Il a opéré principalement sur le quartz hyalin ou cristal de roche. On sait que ce minéral se présente habituellement sous la forme d'un prisme hexagonal régulier, terminé, de chaque côté, par une pyramide à six faces triangulaires symétriques, qu'il faut considérer comme un dirhom-

boèdre, trois de ses faces, 1, 3, 5, appartenant au rhomboèdre direct, et les autres, 2, 4, 6, alternant avec les premières, au rhomboèdre alterne. Les expériences ont été faites sur des plaques circulaires entaillées dans des cristaux de quartz, suivant des directions variées en rapport de position remarquable avec l'axe cristallin du prisme.

Voici les résultats les plus saillants de ces expériences.

1° Avec une lame taillée perpendiculairement à l'axe, on a obtenu deux systèmes de lignes nodales (*fig.* 261) inclinés l'un sur l'autre de 45°, et composés, chacun, de deux diamètres perpendiculaires qui produisent sensiblement le même son.

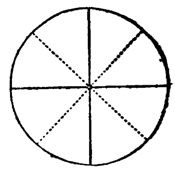


Fig. 261.

2° Lorsque la lame était parallèle à un plan 1, 3 ou 5 de la pyramide qui devait correspondre à une face du rhomboèdre primitif, on n'avait plus qu'un système de diamètres rectangulaires coïncidant avec les diagonales du rhombe qui constitue cette face dans son état complet, mais on voyait apparaître un second système composé de deux branches d'hyperboles, ayant pour axes les lignes précédentes (*fig.* 262). Le son relatif à ces dernières lignes nodales était plus aigu que celui correspondant aux diamètres rectangulaires.

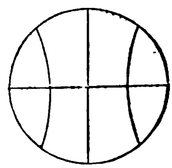


Fig. 262.

3° La lame étant taillée parallèlement à l'une des faces 2, 4, 6, alternant avec les précédentes et supposées appartenir au rhomboèdre alterne, les lignes nodales étaient les mêmes; toutefois les hyperboles se trouvaient plus rapprochées et donnaient un son plus grave que les lignes diamétrales, tandis que le contraire avait lieu dans le cas précédent.

4° On arrivait encore à des systèmes analogues en opérant sur des plaques taillées parallèlement aux faces latérales du prisme.

5° Les plaques parallèles aux faces du prisme hexagonal alterne, celui que l'on obtient par la troncature des arêtes verticales du prime ordinaire, ne donnent plus de diamètres rectangulaires, mais bien deux systèmes d'hyperboles qui, malgré leur similitude, font entendre des sons différents, et dont les axes principaux forment entre eux un angle qui paraîtrait pouvoir être regardé comme caractéristique. Sa valeur pour le quartz est d'environ 51°.

Si ce mode d'investigation était susceptible d'être employé dans

la pratique, on pourrait, en se basant sur les derniers résultats qui viennent d'être indiqués, l'appliquer à la solution d'une question assez intéressante, sous le rapport cristallographique, et que la cristallographie seule est quelquefois impuissante à résoudre, savoir, la distinction entre les prismes hexagonaux, qui doivent être considérés comme résultant de la troncature, soit des angles, soit des arêtes du rhomboèdre fondamental. D'un autre côté, les deuxième et troisième expériences pourraient conduire à faire distinguer, dans une pyramide à six faces dépendant du sous-système rhomboédrique, comme celle qui termine les cristaux de quartz, les trois faces qui appartiennent au rhomboèdre primitif de celles du rhomboèdre alterne, ce qu'il est bien difficile de faire cristallographiquement, au moins pour le quartz.

Expériences sur le calcaire; généralisations. — Nous avons dit que ces expériences curieuses avaient été faites principalement sur le quartz hyalin. Savart avait aussi étudié, sous ce rapport, le calcaire spathique, qui lui avait donné, en général, les mêmes résultats. De là il avait cru pouvoir conclure que les conséquences auxquelles il avait été conduit par l'étude de ces deux minéraux, pouvaient être érigées en principes généraux applicables à tous les cristaux qui se rapportent au rhomboèdre. Cependant les deux espèces que nous venons de citer lui avaient présenté, dans la position de ce qu'il appelait l'axe de maximum d'élasticité, une différence bien remarquable. Dans le quartz, cet axe se confond avec la diagonale oblique de l'une des faces du rhomboèdre primitif, tandis que c'est autour de l'axe horizontal qu'a lieu le maximum d'élasticité dans l'autre espèce. Ces différences sont d'autant plus intéressantes qu'elles marchent conjointement avec des différences d'un autre ordre. On se rappelle la particularité qui caractérise le quartz d'offrir une hémiédrie rotatoire oblique à l'axe qui donne naissance aux faces plagièdres, particularité qui semble liée à celle de la polarisation rotatoire. D'un autre côté, lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur des cristaux de quartz et de calcaire, les angles dièdres du sommet éprouvent de légères variations en sens inverse; l'augmentation ayant lieu pour le calcaire et la diminution pour le quartz. Rappelons encore que cette dernière espèce a un axe de double réfraction attractif, tandis que cet axe est répulsif dans la première.

Ces considérations prouvent qu'il existe réellement une relation intime entre la forme, les propriétés optiques les plus importantes et l'élasticité acoustique, état de choses qui doit nous faire regretter plus vivement encore que l'observation de la dernière propriété soit presque impraticable.

CARACTÈRES SECONDAIRES.

Les caractères qu'il nous reste à examiner sont tous plus ou moins particuliers, souvent variables, et ne sont pas liés nécessairement, comme les précédents, aux attributs des minéraux. Nous devons dire cependant qu'il en est quelques-uns qui sont constants pour des corps d'une même substance et d'une même forme ; mais ces propriétés ne peuvent servir à faire distinguer qu'un certain nombre d'espèces et sont loin, par conséquent, d'offrir cette généralité, qui est un des principaux traits distinctifs des caractères essentiels. Ainsi, la *couleur* fournit un excellent moyen de distinction pour les métaux, pour le soufre, la houille..., tandis que ce caractère est à peu près nul, appliqué à la classe des pierres. La *solubilité* et la *saveur*, dont l'emploi est si précieux pour reconnaître les sels, ne sont plus d'aucun usage lorsqu'il s'agit des autres minéraux.

Malgré cette infériorité évidente, au point de vue scientifique, des caractères dont il s'agit, leur étude n'en est pas moins nécessaire ; car ils sont d'un très-fréquent usage dans la pratique de la minéralogie, et, par leur réunion, ils peuvent conduire à des déterminations aussi exactes que celles que l'on pourrait déduire des propriétes essentielles et même des attributs qu'il n'est pas toujours facile ni même possible d'observer directement. Il est indispensable d'ailleurs d'en faire mention dans la description des espèces.

Comme ces caractères sont assez nombreux, il est utile de les classer, afin de mettre un peu d'ordre dans leur étude et de faire ressortir les rapports qui les lient. C'est ce que nous avons essayé de faire dans le tableau suivant, où l'importance relative, que nous aurons l'occasion de rétablir plus tard, a été souvent sacrifiée aux autres convenances.

TABLEAU DES CARACTÈRES SECONDAIRES DES MINÉRAUX.

CARACTÈRES PHYSIQUES.

A. *Cohésion.*

1 Cohésion proprement dite. { Etats solide, liquide, gazeux. Cohérence, friabilité.

2. Ténacité.

3. Ductilité.

4. Flexibilité.

B. *Lumière.*

1. Transparence.

2. Couleur. . . . . { propre. empruntée.

Appendice : Rayure. — Tachure. — Râclure.

3. Eclat.

4. Dichroïsme.

5. Astérie.

6. Jeux de lumière. . . . . { Irisation. Chatoiement. Aventurine.

C. *Phosphorescence.*

D. *Electricité.*

1. Electricité ordinaire.

2. Pyro-électricité.

E. *Magnétisme.*

Action sur l'aiguille ou sur le barreau aimanté.

F. *Chaleur.*

Conductibilité.

G. *Caractères organoleptiques.*

1. Onctuosité, âpreté.

2. Impression de chaleur et de froid.

3. Pesanteur.

4. Saveur.

5. Odeur.

6. Sonorité.

H. *Action capillaire.*

Happement à la langue.

CARACTÈRES CHIMIQUES.

1. Solubilité dans l'eau.
2. Déliquescence et efflorescence.
3. Action des acides.
4. Action de la chaleur et fusibilité.

CARACTÈRES PHYSIQUES.

Nous appelons *caractères physiques* ceux dont l'emploi n'exige aucune altération prononcée du minéral et qui peuvent être observés immédiatement à l'aide des sens ou avec le secours d'expériences et d'instruments très-simples.

A. COHÉSION.

1. Cohésion proprement dite. — La minéralogie doit embrasser tous les êtres naturels appartenant au règne minéral. Elle a, par conséquent, dans son domaine, non-seulement les corps solides et liquides, mais encore les gaz. Cependant ces derniers n'y jouent qu'un rôle insignifiant ; et, en effet, leurs propriétés physiques particulières se réduisent à très-peu de chose. Quant aux minéraux liquides, ils sont très-peu nombreux. Ainsi, l'attention du minéralogiste se porte presque toujours sur des corps solides. Il ne doit pas perdre de vue cependant que cet état solide de presque tous les minéraux, de même que l'état liquide et l'état gazeux des autres, ne sont que relatifs et qu'ils peuvent passer l'un à l'autre, suivant des circonstances qui heureusement ne se présentent presque jamais dans l'état ordinaire des choses.

La *cohérence*, c'est-à-dire la force d'adhérence des particules entre elles, est une propriété qu'il faut prendre en considération dans les minéraux. Elle est opposée à l'*incohérence*, ou à l'état pulvérulent. La *friabilité* tient le milieu entre ces deux états. Ainsi, le calcaire spathique est cohérent, la craie est friable, et la poudre blanche calcaire, désignée dans les anciens auteurs par le nom

de *lait de lune*, offre un exemple d'incohérence. De même, dans le sable quartzeux, le quartz est incohérent ; il est friable dans le même sable faiblement agrégé ; il est cohérent ou solide dans le grès à paver.

2. Ténacité. — On entend, en minéralogie, par *ténacité* la résistance au choc du marteau. Elle n'est pas très-constante, en général, et n'est remarquable que dans un très-petit nombre de minéraux qu'elle peut contribuer à caractériser, comme la néphrite et la saussurite, qui sont les *jades* de l'ancienne nomenclature. Cette propriété du jade avait été appréciée, dès les premiers temps de la civilisation et, dans tous les cas, bien avant que l'on connût généralement l'usage des métaux ; car on trouve assez fréquemment, dans plusieurs parties de l'Europe, des casse-têtes et des hachettes dont la matière se rapporte à l'un des minéraux qu'on désigne par ce nom, bien que ces minéraux soient généralement peu répandus et qu'ils manquent même souvent dans les contrées où l'on rencontre ces objets façonnés. La ténacité du jade dépend d'une texture compacte finement enchevêtrée qui lui est propre et de l'absence de tout indice de clivage. Toutefois, il ne faudrait pas croire que la compacité que présentent accidentellement beaucoup de variétés minérales dût leur communiquer cette propriété. La plupart, au contraire, ne la possèdent qu'à un faible degré. Il en est beaucoup même qui sont fragiles, et principalement lorsqu'à ce genre de texture elles joignent l'éclat vitreux et surtout l'éclat résinoïde (1) (quartz hyalin, opale).

Les minéraux clivables, étant traversés par un nombre infini de joints, doivent avoir ordinairement une ténacité très-faible (calcaire spathique, barytine spathique) ; mais les textures entrelacées, soit lamelleuses, soit fibreuses, ces dernières surtout, rendent en général les individus qui les présentent susceptibles de résister beaucoup mieux au choc. L'amphibole lamelleuse entrelacée, connue sous le nom d'amphibolite en géognosie, jouit de cette propriété à un haut degré.

---

(1) Ce dernier éclat notamment est un indice presque certain d'une faible ténacité. Les minéraux qui en sont doués contiennent une certaine quantité d'eau, et l'on peut admettre, en général, que la présence de cet élément tend à abaisser la valeur du caractère dont il s'agit.

Les minéraux solubles, c'est-à-dire les sels, et ceux qui ont peu de cohérence, offrent en même temps une très-faible ténacité.

Les métaux ductiles, dont les molécules sont pour ainsi dire accrochées les unes aux autres, doivent résister au choc en ce sens qu'ils ne se laissent pas facilement briser ; mais ils peuvent se plier et se comprimer.

Les corps qui présentent des vacuoles nombreuses, comme beaucoup de produits volcaniques, sont aussi très-difficiles à rompre ; ce qui tient à ce que le choc du marteau se trouve amorti par l'écrasement des premières cellules avant de se propager à travers la masse. Il y a là défaut presque absolu d'élasticité, condition défavorable pour la rupture (basaltes poreux, laves, roches ponceuses).

Le vulgaire confond assez habituellement la *ténacité* et la *dureté*. On peut voir cependant que ces propriétés sont bien différentes, et, dans beaucoup de cas même, elles marchent, en sens inverse dans le même minéral. Le diamant et le quartz, par exemple, sont des minéraux durs, bien qu'ils soient très-peu susceptibles de résister au choc du marteau. Le contraire a lieu pour les produits volcaniques, pour le gypse, et pour les roches amphiboliques.

3. Ductilité. — C'est la faculté qu'ont certains minéraux de pouvoir s'étendre par la pression ou par le choc, de manière à prendre de nouvelles formes, qui persistent après l'action. Tels sont l'or et l'argent, qui s'étirent en fils ou s'étendent en lames très-minces, en conservant toutefois une assez grande cohérence. On désigne particulièrement la faculté de s'étendre en lames par l'expression de *malléabilité*.

Les minéraux ductiles ont encore la propriété de se laisser couper par un instrument tranchant sous forme de petits copeaux allongés, tandis que, dans la même circonstance, les minéraux non ductiles se réduisent en poussière. Il y a même des espèces qui, sans être susceptibles de se convertir en lames ou en fils, jouissent cependant de cette dernière propriété. Exemples : argyrose, kerargyre. Werner les nommait minéraux *doux*, employant le mot *aigre* pour désigner ceux qui n'ont aucune espèce de ductilité.

La propriété de pouvoir être pétris par l'intermédiaire de l'eau, que possèdent quelques minéraux terreux, notamment les *argiles*, est une espèce particulière de ductilité qu'on exprimerait mieux par la dénomination de *plasticité*.

4. Flexibilité. — Cette expression conserve en minéralogie sa signification ordinaire, c'est-à-dire qu'on l'emploie pour désigner la faculté qu'ont les minéraux de se laisser courber plus ou moins sans se rompre. Les minéraux ductiles comme l'or, l'argent, le cuivre, les variétés des espèces pierreuses même qui se présentent sous la forme d'aiguilles ou de fibres suffisamment déliées, ou de lames ayant un certain degré de minceur, jouissent de cette propriété souvent à un très-haut degré. Tout le monde connaît l'extrême flexibilité de l'*amiante*, que l'on est parvenu à filer et à convertir en tissus. Celle du mica et du talc laminiformes ne sont pas moins remarquables. En général, on peut dire qu'un minéral quelconque, si l'on pouvait le réduire en fils assez fins ou en lames assez minces, acquerrait cette propriété. Le quartz en offre un exemple remarquable. Sous la flamme d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène, ce minéral se fond et devient susceptible de s'étirer en fils aussi flexibles que ceux de l'amiante, qui peut être considérée elle-même comme une manière d'être de différents minéraux, passés, pour ainsi dire, à la filière par les pores de certaines roches.

Il faut distinguer, parmi les minéraux flexibles, ceux qui conservent le pli que la flexion leur a communiqué, de ceux qui, l'action une fois accomplie, reviennent à leur première forme. Cette dernière sorte de flexibilité se désigne par l'épithète d'*élastique*. Le mica et le talc diffèrent beaucoup entre eux sous ce rapport, le premier ayant une élasticité marquée qui le fait revenir à sa forme laminaire plane lorsqu'on cesse de le fléchir, tandis que le contraire arrive pour le talc.

B. LUMIÈRE.

1. Transparence. — C'est la faculté de laisser passer plus ou moins les rayons de la lumière. S'ils traversent le corps sans obstacle, de manière que l'on puisse distinguer les objets vus à travers leur masse, il y a *transparence* proprement dite ou *diaphanéité*, propriété qui prend le nom de *limpidité* lorsqu'elle est jointe à l'absence de toute couleur (spath d'Islande, cristal de roche). En général, la limpidité et même la diaphanéité dénotent une pureté très-grande de la substance et un état cristallin très-prononcé. La *translucidité* consiste en une transparence incomplète

ou *nuageuse* qui ne saurait permettre à l'œil de distinguer la forme des objets que l'on regarde à travers le minéral (calcédoine, opale, soufre); c'est la seule dont soient susceptibles les minéraux concrétionnés. Enfin, la propriété d'arrêter complétement la lumière constitue l'*opacité* (métaux, jaspe, anthracite); c'est l'état habituel des minéraux métalliques. Quelquefois, des masses qui paraissent complétement opaques laissent passer un peu de lumière vers les bords de la cassure, où l'épaisseur se trouve considérablement réduite; on dit alors que le minéral est *translucide sur les bords* (silex, prase, agate jaspoïde).

Certains minéraux, qui sont opaques dans l'état ordinaire des choses, deviennent translucides par un séjour plus ou moins prolongé dans un liquide. Telle est la variété d'opale qu'on appelle *hydrophane* parce qu'elle acquiert la translucidité par l'intermédiaire de l'eau. Malgré la compacité apparente de cette pierre, on voit, lorsqu'on la plonge dans ce liquide, de nombreuses bulles d'air s'échapper de sa masse; ce gaz se trouvant remplacé par l'eau dont la réfrangibilité est bien plus voisine de celle du minéral lui-même, les rayons lumineux éprouvent beaucoup moins d'obstacle en cherchant à traverser la pierre.

Pour une certaine classe de corps, comme la plupart des minerais métalliques, le graphite, la houille, l'opacité est à peu près parfaite ou absolue; car elle persiste même lorsqu'on vient à la considérer dans des parties très-ténues ou très-minces de ces corps. Mais, pour beaucoup d'autres minéraux, ce n'est qu'un état relatif; car il suffit de les réduire en lames ou en esquilles minces pour qu'ils laissent passer une certaine quantité de lumière (hornblende, augite, oligiste, blende...). D'après M. Necker de Saussure, cette opacité imparfaite serait offerte, en général, par les minéraux dont la râclure ou la poussière offrirait une couleur plus claire que celle de la masse. Elle serait principalement due au mode d'agrégation des particules, tandis que l'opacité complète dépendrait immédiatement de la nature même du corps.

2. Couleurs. — Les couleurs des minéraux peuvent tenir à la nature de ces corps ou à des mélanges, ou bien encore à des états moléculaires habituels ou accidentels, et il est indispensable de les répartir dans deux catégories qu'il faut soigneusement distinguer et que nous étudierons à part sous les noms de *couleurs*

propres et de *couleurs empruntées*. Ces dernières couleurs elles-mêmes peuvent être *caractéristiques* ou *accidentelles;* de là une nouvelle division que nous devrons introduire dans notre étude.

Couleurs propres. — Les couleurs qui dépendent de la nature des corps, et qui ont par conséquent une grande fixité et une grande constance, offrent une ressource précieuse au minéralogiste pour lui faire distinguer, à la première vue, les minéraux qui jouissent de cet avantage. Ce caractère est surtout marqué dans les minéraux métalliques (or, argent, cuivre, malachite, azurite, galène, pyrite) et, en général, dans tous les minéraux dont la composition simple les préserve de mélanges étrangers (anthracite, soufre), ou dont la couleur propre est assez intense pour anéantir l'influence de celle des matières mélangées (minerais). On peut dire même, d'une manière générale, que chaque corps a sa couleur propre, ou est dépourvu de couleur; car les sels et les pierres non métalliques sont incolores dans leur état de pureté. Quant aux sels métalliques, on peut les ranger, sous ce rapport, avec les métaux, et, pour les pierres dans lesquelles il entre un métal comme principe constituant, leur couleur ne varie presque pas tant que le corps qui la leur donne persiste ; mais elle n'est pas absolument essentielle à l'espèce, et nous l'étudierons comme couleur empruntée caractérisant des sortes ou des sous-espèces.

Il est bon toutefois de faire remarquer que lorsque les particules des corps se trouvent agrégées en masses un peu considérables, surtout si ces masses sont confuses, le surcroît d'intensité que prend alors la couleur du minéral, peut la dénaturer, au moins en apparence. Mais on a un moyen de se soustraire à cette cause d'erreur par la *rayure,* la *tachure* ou la *râclure*, qui mettent en évidence la véritable couleur en réduisant une petite partie du minéral à l'état moléculaire. C'est ainsi que le fer oligiste gris noirâtre donne une poussière rougeâtre qui le fait facilement distinguer de certaines limonites de même apparence dont la poussière est jaunâtre. De même la couleur grise que laisse le graphite sur le biscuit de porcelaine empêchera toujours de le confondre avec la molybdénite qui, dans la même circonstance, produit une raie verdâtre. Enfin, la galène se distinguera nettement des variétés de blende qui lui ressemblent, si l'on raie l'une et l'autre avec une pointe d'acier; car ces dernières mettront en évidence une poussière plus claire que la masse, ce qui n'arrivera pas pour l'autre minéral.

Couleurs empruntées caractéristiques. — Les couleurs empruntées auxquelles nous appliquons l'épithète de *caractéristiques*, qui se manifestent surtout dans les pierres, sont celles qui n'appartiennent pas en propre à l'espèce, mais qui tiennent à quelque circonstance moléculaire, ou, le plus souvent, à un principe métallique ou combustible intimement mêlé à sa substance. Ce principe, sans être atomiquement essentiel au minéral, peut y entrer en proportion mensurable et même définie. La couleur reste alors à peu près constante tant que le métal dont il s'agit n'est pas remplacé par un autre principe isomorphe susceptible de colorer le minéral d'une manière différente.

Les couleurs de cette catégorie n'ont certainement pas la valeur de celles que nous venons d'étudier ; mais elles sont bien plus importantes que les couleurs purement accidentelles. Elles caractérisent réellement certaines sous-espèces ou sortes qui jouent un rôle assez considérable en minéralogie et même dans la constitution des roches. Dans ce cas sont la couleur noire de l'hornblende et de l'augite, le vert de l'actinote, le rouge, le noir, le vert des grenats.

Il est, au reste, un moyen de distinguer ces couleurs des précédentes. Il consiste à pulvériser le minéral coloré et à examiner la teinte offerte par la poussière. Celle-ci est beaucoup plus faible que celle de la masse et même s'efface presque entièrement quand la couleur n'est qu'empruntée. Dans le cas contraire, cet effet n'aurait lieu que d'une manière très-peu sensible, à moins cependant que l'obscurcissement de la teinte ne fût un résultat de l'agrégation.

Couleurs empruntées accidentelles. — Celles-ci sont encore dues, dans la plupart des cas, à la présence d'un principe métallique ; mais ce principe existe dans la substance du minéral en si petite quantité que l'on ne peut en tenir compte dans la définition chimique, bien qu'il paraisse se trouver à l'état de combinaison intime. Dans ce cas, la couleur a très-peu d'importance ; elle varie d'un individu à un autre, et la pulvérisation la fait presque entièrement disparaître. Exemples : corindon bleu (saphir), rose (rubis oriental), jaune (topaze orientale) ; diamant incolore, rose, bleu, noir ; quartz améthyste ; fluorine violette, verte, jaune de vin.

Plusieurs de ces couleurs, celles du diamant par exemple, peu-

vent être attribuées à une disposition particulière des molécules, comme cela a lieu pour plusieurs corps auxquels on fait prendre des teintes assez variées, dans les laboratoires, par l'influence de circonstances légères. Ainsi, quand, après avoir mis du phosphore en fusion, on le laisse refroidir lentement, il repasse à l'état solide avec une teinte miellée, tandis qu'il devient noir par un refroidissement brusque. De même le soufre fondu à 109° reprend sa couleur habituelle en repassant tranquillement à l'état solide et acquiert une teinte brun-rouge quand il est refroidi brusquement après l'ébullition, qui a lieu à 400°.

Il est des minéraux dans lesquels les couleurs accidentelles sont dues à des mélanges plus ou moins grossiers et que l'on pourrait appeler mécaniques. Dans ce cas, on peut souvent reconnaître d'une manière directe le minéral qui joue le rôle de principe colorant. Ainsi, le quartz et l'axinite du Dauphiné deviennent verts par le mélange d'une certaine quantité de la chlorite au milieu de laquelle ils ont cristallisé. La couleur rouge de l'hyacinthe de Compostelle est évidemment due à l'argile ferrugineuse qui a servi de matrice à cette jolie variété de quartz. Il en est de même du sel gemme et du gypse rouges. Il arrive fréquemment aussi que des minéraux ou plutôt des roches se trouvent colorés en noir ou en brun par du carbone ou par du bitume que l'on parvient facilement à faire disparaître en les chauffant.

D'après ce que nous venons de dire sur les couleurs accidentelles, il est facile de prévoir qu'un même minéral pourra en présenter à la fois plusieurs. On trouve en effet, dans la nature, des cristaux qui offrent deux, trois et un plus grand nombre de teintes en diverses parties de leur étendue. Ainsi, certains prismes de corindon hyalin, de diopside, de tourmaline... sont limpides vers l'une de leurs extrémités et colorés en bleu ou en vert à l'autre. Certaines tourmalines sont rouges au centre et bleues à la surface.

Ces couleurs multiples affectent souvent des dispositions variées qui dépendent de diverses circonstances plus ou moins faciles à reconnaître. Ces dispositions sont surtout remarquables dans l'agate, où l'on est dans l'usage de les désigner par les épithètes suivantes : *rubanée*, *zonaire*, *tachetée* et *pointillée*, *veinée*, *nuagée*, *flambée*, *arborisée*, *mousseuse*, *ruiniforme*. Plusieurs de ces assemblages de parties diversement colorées ont été produits par des dépôts

successifs offrant des nuances de couleur différente ; telles sont les agates *onyx* (1), *rubanées*, *zonaires*. La plupart des autres peuvent être attribués au jeu des affinités qui réunissaient des parties similaires au milieu d'une masse pâteuse ou gélatineuse de composition complexe. Les dispositions *flambée* et *ruiniforme* semblent être dues, dans certains cas, à l'action de gaz acides provenant de l'intérieur du globe, de part et d'autre des fissures qui leur donnaient issue. C'est ainsi, du moins, que M. Brongniart a expliqué la formation des figures anguleuses que l'on remarque sur les plaques polies de calcaire qui circulent dans le commerce sous le nom de *marbre ruiniforme de Florence.*

3. Eclat. — Un corps poli quelconque, ou même fraîchement cassé, jouit de la propriété de renvoyer à l'œil, par réflexion, indépendamment de sa couleur, une certaine quantité de lumière vague susceptible d'affecter cet organe plus ou moins agréablement ou vivement. L'observation la plus vulgaire suffit pour faire reconnaître que cette lumière réfléchie ne produit pas le même effet lorsqu'elle émane de tel ou tel corps, et que cet effet varie, au contraire, d'un corps à un autre, eu égard à sa nature ou à sa structure, comme si la lumière pénétrait dans la pellicule externe pour porter à l'œil une notion des propriétés intérieures du corps. C'est ce mode d'action sur la lumière de la part des corps à la surface desquels elle se réfléchit que l'on a désigné par le nom d'*éclat.*

Les minéraux sont susceptibles d'offrir, suivant les espèces ou les sortes et suivant les circonstances, des éclats variés qui peuvent être rapportés à deux grands types, savoir : l'*éclat métallique* et l'*éclat lithoïde.*

Eclat métallique. — C'est cet éclat vif et brillant que tout le monde a remarqué dans les métaux, surtout lorsqu'ils viennent d'être récemment polis ou clivés (or, argent, antimoine), et en général dans les minéraux métalliques, notamment dans les

---

(1) Lorsqu'une agate offre deux couches de couleurs différentes, dont l'une tranche relativement à l'autre, on peut s'en servir pour faire un *camée*. Pour y parvenir, on sculpte une tête en ronde bosse dans la première couche et l'on enlève toute la partie excédant la seconde, qui sert alors de fond au tableau.

oxydes et les sulfures (oligiste, zigueline, pyrite, galène). Je ferai observer qu'il est toujours lié à une opacité complète.

Eclat lithoïde. — Celui-ci caractérise d'une manière générale les minéraux qui ne sont pas métalliques, particulièrement les pierres. Il est moins brillant, moins vif que le précédent. Il est souvent terne ou même terreux.

On peut y distinguer un assez grand nombre de sortes sur lesquelles nous allons donner quelques notions en commençant par celles qui s'éloignent le moins de l'éclat métallique.

Eclat métalloïde. — Il ressemble beaucoup à celui des métaux, et pourrait être regardé comme formant une sorte de transition entre les deux types ; mais il n'est bien caractérisé que dans quelques pierres très-lamelleuses ou laminiformes, comme le mica et l'hypersthène, où il n'affecte d'ailleurs que la surface, puisqu'il suffit d'une rayure ou d'une râclure pour le faire disparaître.

Eclat adamantin. — C'est celui qui distingue si éminemment le diamant. Il est en même temps vitreux et gras et l'emporte en vivacité sur l'éclat métallique. Quelques minéraux pierreux autres que le diamant (zircon blanc) le présentent ; il est même très-prononcé dans la céruse, qui est une espèce métallique. Je ferai remarquer que ces minéraux ont un grand pouvoir réfringent.

Eclat vitreux. — Il est offert par un grand nombre de minéraux pierreux et salins dont le pouvoir réfringent est peu considérable. Son type se trouve dans le cristal de roche, qui est lui-même identique, sous ce rapport, au cristal artificiel ou au verre.

Eclat gras. — Il existe dans un certain nombre de minéraux, qui semblent avoir été recouverts d'un enduit gras ou huileux (zircon, quartz gras, éléolite).

Eclat résineux. — Cet éclat a beaucoup de rapport avec le précédent, auquel il passe d'une manière insensible. Les minéraux qui le présentent ont l'aspect de la résine ou de l'empois desséché (grenat colophonite, pechstein, opale).

Eclat céroïde. — L'éclat que l'on peut désigner ainsi n'est qu'une variété des deux éclats précédents. Il est offert par certains minéraux à cassure esquilleuse (pétrosilex, serpentine).

Eclat nacré. — Le type de cet éclat est fourni par la nacre de perle, si douce et si agréable à l'œil. On le trouve principalement dans les minéraux clivables et surtout dans ces masses feuilletées dont les éléments peuvent être considérés comme résultant de sections

perpendiculaires à un axe principal de cristallisation (calcaire nacré, calcaire hexagonal du Hartz, stilbite) (1). — L'éclat *perlé* n'est qu'une nuance de l'éclat nacré (dolomie, perlstein). — L'éclat *soyeux* est une autre nuance qui est donnée par des agrégats parallèles de fibres très-fines et comparables aux filaments de la soie (calcaire et gypse fibro-soyeux).

Le mot *éclat* semble incompatible avec certaines épithètes, telles que *terne*, *terreux*, *mat*. Néanmoins, en se rapportant à la signification que nous lui avons attachée, qui est celle qu'on doit réellement adopter en minéralogie, on concevra la convenance d'admettre, pour compléter notre tableau, les éclats, pour ainsi dire négatifs, que nous désignerons par les épithètes citées, savoir : l'éclat *mat* (orthose pétunzé), l'éclat *terne* (jaspe), l'éclat *terreux* (craie, argile).

La propriété dont il vient d'être question peut être considérée comme la base d'un bon caractère minéralogique. Les éclats les plus constants sont les premiers que nous avons étudiés. Quant aux derniers, ils peuvent varier beaucoup suivant les circonstances et ne servent guère que pour faire distinguer des variétés. Ainsi, dans l'espèce calcaire, par exemple, on trouve l'éclat vitreux, l'éclat nacré et l'éclat terreux.

L'éclat peut encore être considéré eu égard à son intensité ; mais la minéralogie n'a rien à changer, sous ce rapport, au sens des mots employés dans le langage habituel. Ainsi, les éclats intenses seront désignés par les épithètes *vif*, *brillant*, et les autres seront appelés *doux*, *faible*, *terne*.

4. Dichroïsme. — On désigne par cette dénomination la propriété qu'ont certains minéraux transparents d'offrir deux couleurs, quand on les place entre l'œil et la lumière, suivant le sens dans lequel les rayons lumineux les traversent. Cette propriété, qui n'est bien remarquable que dans un très-petit nombre d'espèces, paraît liée, d'une part, à la disposition moléculaire du principe colorant dans l'intérieur du minéral, et, d'autre part, au phénomène de la polarisation de la lumière, qui est en rap-

(1) Les écailles qui constituent la nacre, par leur superposition, se comportent, à l'égard de la lumière polarisée, comme des lames qui auraient été taillées dans un rhomboèdre perpendiculairement à l'axe.

port lui-même avec la forme cristalline. Elle paraît devoir être nulle dans les cristaux du groupe régulier, qui n'ont pas, en général, la double réfraction. Dans les cristaux à un axe optique on peut observer deux couleurs (*dichroïsme*), dont l'une paraît lorsqu'on place ces minéraux cristallisés de manière que les rayons les traversent parallèlement à l'axe, auquel cas aucune partie de la lumière n'est polarisée; perpendiculairement à l'axe ou dans toute autre position, la lumière qui arrive à l'œil est composée de lumière polarisée en deux sens inverses l'un de l'autre et inégalement absorbée, et l'on observe l'autre teinte.

Dans la cordiérite, où ce phénomène a été remarqué pour la première fois, et qu'on avait nommée, à cause de cela, *dichroïte*, l'une des teintes, celle qui se manifeste dans le sens de l'axe, est bleue; l'autre est d'un brun verdâtre. Certaines tourmalines paraissent presque opaques et noires dans la première position, et offrent une couleur verte, brune ou rouge, si l'on place le prisme devant l'œil dans une position transversale. L'observation de trois couleurs (*trichroïsme*) ne peut réussir que dans les minéraux à deux axes de double réfraction, c'est-à-dire dans ceux qui dépendent des trois derniers groupes cristallins. Elle a été faite pour un certain nombre d'espèces de cette catégorie, notamment pour la topaze du Brésil, le pyroxène diopside, l'axinite; mais les résultats obtenus sont généralement peu caractérisés.

Quelques individus cristallisés offrent quelquefois deux couleurs différentes suivant qu'on fait agir sur eux la lumière par réflexion ou par réfraction (fluorine). C'est un genre particulier de dichroïsme qu'il ne faut pas confondre avec celui que nous venons d'étudier.

8. Astérie. — Le phénomène auquel on donne ce nom consiste en une étoile de lumière blanchâtre à trois, six, quatre, huit rayons que l'on remarque rarement dans certains minéraux taillés en cabochon normalement à l'axe. On peut l'observer par réflexion et par réfraction dans quelques cristaux qui ont un axe principal (système hexagonal et système tétragonal), ou encore dans le système régulier normal, qu'il faut alors considérer comme une limite de l'un ou de l'autre des systèmes précédents. Ce phénomène est d'ailleurs tout à fait individuel et tient à une structure particulière de quelques rares cristaux.

Le minéral dans lequel il se montre de la manière la plus marquée est le saphir, où les anciens l'avaient reconnu et désigné même par le nom d'*astérie* attribué à Pline. La première description du saphir astérique est due à un lapidaire de Hambourg; mais de Saussure (*Voyage dans les Alpes*, T. IV, nº 1891) est le premier qui ait donné une explication du phénomène, la meilleure que la science possède. Ce grand naturaliste, ayant observé à la loupe la structure intérieure d'une pierre de ce genre, avait aperçu, dans toute l'épaisseur du cristal, une multitude de traits déliés qui se croisaient sous des angles de 60°. Il pensait que ces traits s'étaient produits adventivement pendant l'accroissement du cristal et que c'était à la réflexion de la lumière sur les faces de ces files moléculaires qu'il fallait attribuer les lignes lumineuses perpendiculaires qui les traversent et dont l'ensemble forme l'étoile à six rayons par laquelle se manifeste l'astérie dans le saphir.

Cette explication de de Saussure se rattache naturellement au phénomène des réseaux à travers lesquels la lumière éprouve des réflexions qui donnent naissance à des bandes lumineuses perpendiculaires aux diverses directions qui s'y trouvent (1). Ici les stries ou les fils qui, dans l'expérience fondamentale, constituent les lignes réfléchissantes, seraient remplacés par des files de petits cristaux de même forme apposés parallèlement les uns aux autres indépendamment de la structure normale du minéral dont il s'agit.

Ce curieux phénomène est d'ailleurs en rapport intime avec les caractères cristallographiques des rares minéraux qui le présentent.

---

(1) Voici en quoi consiste ce phénomène. Si, après avoir tracé sur une lame de verre des stries parallèles très-serrées, on regarde, au travers, la lumière d'une bougie, on voit, des deux côtés de la flamme, une bande lumineuse perpendiculaire à la direction des stries. Dans le cas où les stries se trouvent gravées dans deux sens perpendiculaires, en répétant la même expérience, au lieu d'une seule bande on en voit deux, formant entre elles un angle droit. C'est ce que l'on peut facilement observer au moyen d'un linge fin dont la chaîne et la trame remplacent les fines stries du verre. Avec trois séries de stries, on obtiendrait trois bandes et, par conséquent, une étoile à six rayons.

On peut admettre que, dans les individus exceptionnels qui offrent des étoiles, les files moléculaires, rangées d'après les lois de la structure, sont plus détachées les unes des autres et plus comparables aux stries ou aux tissus qui servent de base à ces expériences. Des indices de cette particularité semblent être offertes par le corindon harmophane de la Chine, qui montre, sur une face polie perpendiculairement à l'axe, trois systèmes de stries formant entre eux des angles de 120° ou de 60°.

Ainsi par exemple, certains grenats rouges taillés en plaques perpendiculaires à la ligne qui joindrait les angles trièdres donnent une étoile à six rayons, tandis que c'est une étoile à quatre branches que l'on voit à travers une plaque perpendiculaire à l'axe qui passe par les sommets tétraèdres. On a encore trouvé des traces d'astérie dans l'idocrase et dans la barytine. L'étoile, dans ce cas, est à quatre rayons, rectangulaires dans le premier minéral, et parallèles, dans le second, aux côtés de la base du prisme rhomboïdal primitif.

6. Jeux de lumière. — Nous avons rassemblé, sous ce titre, quelques effets de lumière tout à fait accidentels et qui n'ont pas un rapport nécessaire avec la forme cristalline.

Irisation. — On sait que la lumière blanche se décompose, en traversant des lames très-minces d'un corps quelconque, de manière à produire des taches ou des zones diversement colorées. C'est à cette cause qu'il faut attribuer la plupart des couleurs irisées que l'on remarque à la surface ou dans l'intérieur de divers individus minéralogiques.

Dans certains cas, la lame décomposante n'est autre chose qu'une pellicule infiniment mince de matière étrangère qui recouvre la surface du corps, et qui résulte souvent d'une modification chimique ou physique superficielle. Alors il suffit quelquefois de laver le minéral ou de le brosser pour faire disparaître les couleurs (houille, limonite, oligiste en partie, pyrite). Dans d'autres cas, la propriété paraît plus persistante et dépend alors de la structure même du corps.

L'iris n'est pas toujours superficielle. On l'observe assez souvent dans l'intérieur des minéraux cristallisés, où elle est ordinairement produite par les joints de clivage (calcaire, gypse) ou par des fêlures (quartz). Elle affecte alors fréquemment la disposition des anneaux colorés de Newton dont on peut varier l'aspect dans les minéraux clivables, comme le gypse, en relachant un peu ou comprimant les lames dont ils sont composés. Le cuivre pyriteux, qu'on nomme *cuivre panaché*, offre aussi des couleurs intérieures dont sa masse paraît intimement pénétrée, et qu'on ne peut attribuer à la même cause; c'est probablement, dans ce cas, un effet de décomposition.

Nous devons mentionner à part les couleurs intérieures que pré-

sentent certaines opales, couleurs dont la richesse, la variété et le jeu rendent cette pierre si précieuse en joaillerie. Haüy les attribuait à des fissures accidentelles ; mais cette explication exige que les fissures pénètrent le minéral dans toute ses parties et qu'elles soient très-multipliées ; car l'opale irisée, divisée par la cassure, montre encore des couleurs dans les plus petits fragments.

D'autres opales, sans offrir précisément les couleurs vives et variées que nous venons de signaler, laissent sortir de leur intérieur, lorsqu'on les présente à la lumière, des lueurs d'un jaune d'or ou d'un blanc laiteux ; on les désigne par l'expression de *girasol*. Il y a aussi des corindons qui jouissent de cette propriété et qui prennent alors la qualification d'*opalins*.

Chatoiement. — On désigne par ce mot une propriété analogue à celle qui vient d'être indiquée dans l'opale girasol, en vertu de laquelle quelques variétés de différents minéraux paraissent contenir une tache lumineuse blanchâtre qui change de place lorsqu'on fait mouvoir le corps, comme si elle flottait dans son intérieur (feldspath opalin dit pierre de lune, cymophane, quartz chatoyant ou œil-de-chat). M. Cordier a expliqué cet effet dans le quartz par la présence de filaments imperceptibles d'amiante. Il est très-vrai que les cristaux de roches qui renferment des touffes de cette pierre filamenteuse jouissent d'une certaine faculté chatoyante. Nous ferons remarquer, au reste, que l'on imite, jusqu'à un certain point, ces différents reflets en incorporant dans le verre diverses matières peu fusibles, comme de l'oxyde d'étain ou des os calcinés et pulvérisés, qui y restent suspendues en particules impalpables de manière à troubler sa transparence.

Nous considérons comme assez distinct du précédent un jeu de lumière très-remarquable que présentent certains morceaux de feldspath Labrador, particulièrement ceux des blocs qui ont été longtemps exposés à l'air, et qui paraît dû à une cause toute particulière. Cet effet consiste en des reflets colorés de la plus grande beauté qui semblent sortir de la pierre lorsqu'on la place sous certaines incidences dont le nombre est limité. Ces reflets sont souvent unicolores, ordinairement d'un beau bleu velouté, ou de deux ou trois couleurs, sur un fond gris. Ils ont beaucoup de rapport avec ceux que l'on remarque sur le plumage des paons ou sur les ailes des papillons. On pense qu'ils pourraient être dus à la décomposition de la lumière incidente qui, avant de se réflé-

chir vers l'œil, traverserait les extrémités des lames dont le minéral est composé, sur une épaisseur variable suivant l'inclinaison.

Aventurine. — C'est une variété de quartz, ordinairement de couleur rougeâtre, de l'intérieur de laquelle partent, en une multitude de points, des reflets scintillants que l'on suppose produits par de petites parties cristallines plus vitreuses que les autres. Un effet du même genre est offert par certains feldspaths laminaires (pierre de soleil). On désigne encore par ce nom d'autres pierres (quartz, feldspath), dans lesquelles se trouvent disséminées de petites lamelles de mica. C'est cette dernière espèce d'aventurine, qui n'a aucun rapport théoriquement avec la précédente, que l'on imite très-avantageusement par des verres dans lesquels on fait cristalliser du cuivre métallique disséminé.

C. PHOSPHORESCENCE.

Ce phénomène consiste en des lueurs plus ou moins vives et diversement colorées, que l'on développe dans un assez grand nombre de minéraux par frottement, percussion ou compression, et surtout par l'action de la chaleur et de la lumière. Ces expériences d'ailleurs, pour donner des effets bien sensibles, doivent être faites dans un lieu obscur.

La facilité avec laquelle les minéraux deviennent phosphorescents par l'un ou l'autre de ces moyens varie beaucoup, non-seulement entre les espèces, mais encore d'un individu à l'autre. Ainsi, certaines variétés de blende fibreuse donnent des lueurs par la seule friction d'une barbe de plume, tandis que, pour obtenir le même résultat avec le quartz et le marbre, il faut frotter l'un contre l'autre deux morceaux avec une assez grande force. La variété de fluorine nommée *chlorophane* brille dans l'obscurité à la température de l'été, tandis que les autres variétés ne deviennent phosphorescentes qu'en les plaçant sur une pelle échauffée. C'est en général par ce dernier moyen qu'on développe la phosphorescence par la chaleur dans les minéraux. L'apatite, et particulièrement la sorte grossière que l'on trouve en Estramadure, donne de belles lueurs. Les couleurs développées sont ordinairement le jaune, le vert et le violet. Elles sont susceptibles de varier avec la température.

On peut aussi développer la phosphorescence dans les corps

par l'insolation, c'est-à-dire en les exposant pendant quelque temps au soleil; mais les lueurs que l'on obtient dans ce cas, et qui ne sont sensibles que dans la plus grande obscurité, ont trop peu d'intensité et de durée pour être utiles en minéralogie.

L'état des surfaces a une grande influence sur la phosphorescence opérée par friction ou frottement. En général, ces lueurs ne paraissent pas sur les cristaux naturels dont les faces sont polies et brillantes, et il suffit souvent alors de détruire le poli ou de réduire le cristal en fragments pour le rendre apte à la production du phénomène. Toutefois le diamant donne des lueurs lorsqu'il est taillé et poli artificiellement, et n'en produit aucune lorsqu'il est en cristaux naturels. Si l'on rapproche ces circonstances de celles qui accompagnent les lueurs et des moyens que l'on emploie pour les faire naître, on trouvera, avec MM. Dessaignes et Becquerel, que la phosphorescence pourrait bien se rattacher à l'électricité.

Quant à la valeur de cette propriété comme caractère minéralogique, on doit voir qu'elle est presque nulle, puisqu'elle se trouve pour ainsi dire attachée aux individus. Cependant on pourrait s'en servir pour distinguer, dans quelques cas, les minéraux qui la présentent avec le plus de constance, comme la fluorine et l'apatite.

D. ÉLECTRICITÉ.

Électricité ordinaire. — La propriété la plus utile à considérer en minéralogie, sous le rapport de l'électricité ordinaire, est la *conductibilité*. Eu égard à cette propriété, les corps qui font l'objet des études du minéralogiste pourraient être divisés en deux classes, dont l'une se composerait de ceux auxquels on peut communiquer la vertu électrique sans prendre aucune précaution : ce seraient les *non conducteurs* ou *idio-électriques ;* et l'autre comprendrait tous les minéraux qui ne peuvent acquérir cette propriété d'une manière un peu permanente que lorsqu'on a pris soin de les isoler, c'est-à-dire les *conducteurs* ou *an-électriques*. Dans la première classe se trouvent : le succin, le soufre, les gemmes, et, en général, les minéraux résineux, bitumineux ou vitreux (organiques et pierres). La seconde est principalement constituée par les métaux et la plupart de leurs combinaisons.

Les minéraux idio-électriques ne s'électrisent pas tous avec la même facilité. Au contraire, on remarque à cet égard de grandes différences qui tiennent souvent à des circonstances assez légères, mais qui peuvent dépendre aussi de la nature du minéral. Ainsi le calcaire cristallisé et la topaze contractent la vertu électrique beaucoup plus facilement que le quartz et le diamant. La faculté conservatrice relativement au fluide électrique est aussi très-différente d'un minéral à un autre. Les espèces que nous venons de citer en offrent la preuve ; car les dernières cessent d'être électriques très-peu de temps après qu'on leur a communiqué la propriété dont il s'agit, tandis que le calcaire et la topaze peuvent la conserver pendant plusieurs jours.

Il y a lieu aussi de distinguer dans les minéraux la nature de l'électricité qu'ils prennent habituellement. Le diamant, par exemple, acquiert toujours l'électricité *vitrée* ou *positive,* tandis que le succin et le soufre donnent constamment l'électricité *résineuse* ou *négative*. Toutefois, ce caractère ne mérite pas la considération qu'on serait tenté de lui accorder au premier abord, parce qu'il est susceptible de varier par des circonstances accidentelles. Ainsi, le même minéral, qui s'électrise positivement lorsque ses faces sont polies et brillantes, contracte l'électricité négative lorsque ces mêmes faces deviennent ternes et rugueuses. Il est même une espèce, le *disthène*, déjà citée pour les particularités qu'elle offre relativement à la dureté, dont deux faces opposées s'électrisent ordinairement en sens inverse, sans que l'on puisse savoir à quoi attribuer cette différence, propriété bien singulière qui a suggéré à Haüy le nom que nous venons de citer (1).

Moyens d'observations. — Le moyen qu'on emploie ordinairement pour électriser les minéraux est le frottement à l'aide d'une étoffe de laine. Pour reconnaître simplement s'ils ont contracté par cette action la vertu électrique on peut se servir d'un corps léger

(1) MM. de Sénarmont et Wiedemann ont fait, sur la conductibilité électrique des cristaux, une série d'expériences qui semblent établir que cette propriété varie avec la symétrie cristallographique. Ainsi, dans les cristaux du système régulier, la conductibilité superficielle serait égale, en tous sens, sur toutes les faces. Pour ceux des deuxième et troisième systèmes, la même égalité se remarquerait encore sur les plans perpendiculaires à l'axe ou bases ; mais il existerait, sur les faces parallèles, une direction de conductibilité maximum qui serait parallèle ou perpendiculaire à l'axe.

quelconque que le minéral doit attirer s'il est idio-électrique. Un fil, un cheveu peuvent très-bien remplir cet objet ; mais on fait plus souvent usage d'une aiguille métallique terminée par deux petites boules, qui peut librement tourner sur un pivot qui la supporte à son centre de gravité. Lorsque l'aiguille est très-légère et très-mobile, elle se déplace par l'influence d'une faible quantité d'électricité développée dans le corps qu'on approche de l'une des boules.

S'il s'agit de découvrir l'espèce d'électricité que le frottement a communiquée au minéral, il faut électriser d'avance le petit électroscope que nous venons de décrire au moyen d'un bâton de résine ou d'un tube de verre frotté, après l'avoir posé sur un support isolant. En supposant qu'il se trouve électrisé négativement, par exemple, la petite aiguille sera repoussée par le corps s'il a la même espèce d'électricité ; elle sera attirée, au contraire, s'il possède l'électricité positive. Il faut bien remarquer ici que l'attraction ne signifierait absolument rien si l'on ne s'était assuré d'avance de l'état électrique du minéral ; car elle aurait lieu également pour un corps dans l'état naturel. Pour éviter cette cause d'incertitude, il est bon d'avoir des appareils électrisés en sens inverse et de voir quel est celui que le minéral repousse.

Un cheveu, un fil ou une barbe de plume, placé à l'extrémité d'un support de cire d'Espagne que l'on a frotté d'avance, peut servir d'électroscope négatif. Haüy a imaginé, pour composer un appareil positif, de terminer par une pince l'un des côtés de l'aiguille électrique ordinaire, et d'y fixer, par ce moyen, un petit rhomboèdre de clivage de spath d'Islande que l'on équilibre de l'autre côté par un contre-poids mobile. Il suffit de presser entre les doigts le petit rhomboèdre pour constituer toute l'aiguille, qui se trouve d'ailleurs isolée par une chappe d'agate, dans un état permanent d'électricité positive.

Les minéraux peuvent aussi être électrisés par pression, et nous venons d'en voir la preuve dans le petit électroscope positif de Haüy. Mais ce moyen est peu employé, parce qu'il est beaucoup moins général que le frottement. En effet, il ne réussit que sur certains minéraux taillés en plaques, et particulièrement sur ceux qui sont susceptibles d'offrir cette forme par le clivage. Le calcaire spathique occupe le premier rang sous ce rapport ; car il suffit de le toucher par deux faces opposées d'une lame de clivage

pour lui communiquer une quantité sensible d'électricité positive. Le gypse laminaire résiste, au contraire, à l'action de cette force.

Pyro-électricité. — La chaleur peut être regardée comme un moyen d'électrisation pour quelques minéraux ; mais ce phénomène n'est remarquable et ne mérite de fixer l'attention du minéralogiste que dans le cas où il produit des pôles électriques, et c'est pour ce cas exclusivement que nous réservons le nom de *pyro-électricité*. C'est le seul dont nous ayons ici à nous occuper.

Le chaleur ne peut donner des pôles électriques qu'à un petit nombre de minéraux cristallisés, et particulièrement à la tourmaline. On prétend que les anciens avaient reconnu cette propriété dans la gemme qui porte ce nom ; mais ce n'est qu'en 1717 que le chimiste Lémery établit le fait par des expériences évidentes. Depuis, Haüy reprit ce sujet, imagina un petit appareil pour répéter commodément l'expérience de Lémery, et fit voir les relations qui liaient cette propriété à certaines particularités cristallographiques; mais la marche réelle du phénomène n'est réellement connue que depuis les expériences de M. Becquerel, desquelles il résulte :

1° Que dans les minéraux susceptibles d'acquérir des pôles électriques par la chaleur, ces pôles ne commencent à se manifester qu'à une certaine température à peu près constante pour chacun d'eux, mais variable de l'un à l'autre.

2° Que, à partir de cette limite, l'intensité électrique se développe à chaque pôle et croît avec la température.

3° Que toute trace d'électricité disparaît si la température, cessant de croître, reste stationnaire.

4° Que, pendant le refroidissement, les pôles et l'intensité électriques reparaissent, mais en sens inverse, de sorte que le pôle qui manifestait l'électricité positive pendant la période croissante offre maintenant l'électricité négative et réciproquement.

Il semble naturel de penser, d'après ces résultats d'expériences, que ce sont les variations de température plutôt que l'action de la chaleur même qui communiquent l'électricité polaire.

Minéraux pyro-électriques. — Les minéraux, en petit nombre, chez lesquels cette propriété a été jusqu'à présent reconnue appartiennent tous à la catégorie des mauvais conducteurs ou idio-

électriques. Voici la liste de ceux où elle se manifeste d'une manière plus ou moins remarquable :

Tourmaline.	**Boracite.**
Calamine.	**Axinite.**
Scolézite.	**Prehnite.**
Topaze.	**Quartz.**
Barytine.	**Rutile.**

Et parmi ces minéraux eux-mêmes, il existe de grandes différences, non-seulement d'une espèce à une autre, mais encore entre des individus d'une même espèce. La calamine s'électrise à la température ordinaire et même à une température inférieure à zéro, pourvu que le thermomètre soit en voie d'élévation ou d'abaissement ; tandis que la tourmaline a besoin d'être chauffée jusqu'à un certain degré pour acquérir des pôles électriques.

Relation entre la pyro-électricité et l'hémiédrie. — Haüy a remarqué que la propriété dont il s'agit coïncidait, en général, dans les minéraux connus de son temps pour être susceptibles d'acquérir l'électricité polaire par l'action de la chaleur, avec un défaut de symétrie dans la forme extérieure des extrémités où résidaient les deux pôles de nature différente. Cette circonstance est surtout frappante dans la tourmaline et encore plus dans la boracite, où Haüy avait découvert huit pôles électriques correspondant aux huit angles solides dissymétriques deux à deux aux extrémités d'un même axe. Toutefois, il n'est guère possible de considérer cette remarque comme une loi générale, en voyant dans la liste des minéraux pyro-électriques des espèces à cristaux complétement symétriques.

Expériences de MM. Riess et G. Rose. — Les expériences de M. Becquerel nous ont appris la véritable marche de l'électricité dans les minéraux susceptibles d'acquérir ce fluide par l'action de la chaleur ; mais elles ne nous disent rien de la position des axes ni de la nature des pôles dans les divers cristaux. MM. Riess et G. Rose ont cherché à combler cette lacune par des recherches expérimentales très-délicates dont nous indiquerons seulement les résultats principaux. Ces résultats se rapportent : 1° à la position des pôles et des axes électriques ; 2° à la nature de l'électricité développée à ces pôles (1).

(1) Il faut entendre ici par *pôles* chaque couple de points opposés où se manifestent

Dans les exemples connus de Haüy, les axes pyro-électriques se confondaient avec les axes cristallins. Les travaux de MM. Riess et G. Rose prouvent qu'il existe d'autres minéraux dans lesquels les choses ne se passent pas ainsi, et ils ont divisé sous ce rapport les cristaux pyro-électriques appartenant aux espèces dont nous avons donné plus haut la liste en trois catégories, savoir :

Cristaux à pôles terminaux.
— *à plusieurs axes d'électricité.*
— *à pôles centraux.*

Les cristaux à pôles terminaux se présentent sous forme de prismes ou de baguettes libres ou agrégées, aux extrémités desquelles se trouvent les pôles électriques. Il n'y a, dans ce cas, qu'un seul axe électrique qui se confond avec l'axe principal cristallin. Exemples : tourmaline, scolézite, calamine.

L'axinite offre deux axes d'électricité distincts, l'un et l'autre, des axes cristallins et qui ne se croisent nullement au centre du cristal.

La boracite est remarquable par la multiplicité de ses axes, qui se confondent ici avec ceux du cristal. Ces axes sont au nombre de sept, savoir : les quatre diagonales du cube qui est la forme dominante de l'espèce, et les axes ordinaires de ce cube, c'est-à-dire ceux qui joignent les centres des faces opposées. Il y a donc quatorze pôles électriques dans la boracite, dont huit aux angles solides, ceux que Haüy avait indiqués, et six au milieu des faces, reconnus plus tard par M. Hankel.

La prehnite et la topaze ont offert à MM. Riess et G. Rose le fait tout nouveau des pôles centraux. La première espèce, dont la forme primitive est un prisme ortho-rhombique d'environ 100°, possède deux axes d'électricité placés bout à bout suivant la petite diagonale de la base. D'où il résulte que, au centre de cette base, il existe un pôle commun d'un certain genre, tandis qu'aux extrémités de la diagonale sont des pôles d'un genre opposé à celui du centre. Il y a donc dans la prehnite trois pôles dont l'un est central. La topaze, qui cristallise également en prisme ortho-rhom-

---

des électricités contraires, quelle que soit la position qu'ils occupent dans le cristal. Toute ligne qui joint deux de ces pôles conjugués doit être considérée comme un *axe électrique*.

bique, offre le même phénomène. Les savants auteurs de ces recherches ont même reconnu que tous les points de l'axe principal de ce prisme manifestaient, par l'action de la chaleur, de l'électricité d'un signe, et qu'en même temps les arêtes obtuses se trouvaient douées, dans toute leur longueur, d'une électricité contraire. Aux arêtes aiguës, il n'y avait, dans leurs expériences, aucune tracé d'électricité.

Nous avons déjà dit que MM. G. Rose et Riess ne s'étaient pas bornés à reconnaître la position des pôles électriques, et qu'ils avaient voulu aussi en rechercher la nature. Avant d'énoncer les principaux résultats auxquels ils sont arrivés pour les minéraux pyro-électriques déjà cités, il est essentiel de faire connaître le sens précis de deux expressions qu'ils ont été obligés de créer pour donner à leurs énonciations toute la concision désirable.

Dans les expériences de M. Becquerel, on voit les minéraux pyro-électriques prendre, pendant l'échauffement, des pôles d'une certaine nature qui change avec inversion pendant la période de refroidissement; mais on ne peut en tirer aucune notion sur la nature de l'électricité produite. Or, cette nature est constamment la même pour le même pôle dans un minéral donné. Cela posé, il peut arriver qu'un pôle prenne l'électricité positive pendant l'échauffement, auquel cas il passera nécessairement à l'état négatif pendant le refroidissement. Ce pôle est donc constamment de même signe, pour ainsi dire, que la température. Il reçoit pour ce motif le nom d'*analogue*. On nomme, au contraire, *antilogue* celui qui accuserait de l'électricité négative pendant la période ascendante de température et de l'électricité positive pendant la période descendante.

Voici maintenant les résultats que nous avions annoncés. Dans la tourmaline, un des sommets porte particulièrement les faces de la pyramide fondamentale posées sur trois pans du prisme; celui-là est constamment analogue, tandis que le sommet opposé est antilogue. La scolézite se présente en faisceaux radiés composés de prismes ou d'aiguilles, dans lesquels le pôle antilogue se trouve toujours à l'extrémité libre ou divergente des rayons. Dans les faisceaux de calamine, c'est le contraire que l'on observe, c'est-à-dire que le pôle antilogue se présente du côté par lequel les prismes ou aiguilles convergent. L'axinite et la boracite ont aussi des pôles d'une nature fixe et déterminée dont la position n'offre rien de

saillant. Dans la prehnite et la topaze le pôle central est analogue, et les pôles situés sur les arêtes obtuses, passant par les extrémités de la petite diagonale, sont antilogues.

Ces relations curieuses pourraient être utilisées dans certains cas, comme, par exemple, pour aider à placer dans leur véritable position des prismes tronqués de tourmaline ou des aiguilles détachées de scolézite ou de calamine.

Moyen habituel d'observation. — Pour observer le phénomène dont il s'agit dans toutes ses phases, il faudrait opérer, comme l'ont fait MM. Becquerel, G. Rose et Riess, avec leurs appareils, pour la description desquels nous renvoyons aux traités de physique ; mais ces expériences délicates ne sont pas du ressort du minéralogiste, qui n'a besoin, ordinairement, que de constater simplement la pyro-électricité ; or, il suffit pour cela, après avoir exposé le minéral pendant quelques instants à la flamme d'une lampe à alcool, par exemple, de le placer sur un support isolé très-mobile, et de profiter de l'électricité acquise pendant la période de refroidissement. On en reconnaîtra facilement la nature, à l'un ou l'autre pôle, en approchant un bâton de cire d'Espagne légèrement frotté.

Le petit instrument imaginé par Haüy pour ce genre d'expérience est très-commode. Il se compose d'une pièce de laiton de forme rectangulaire, portant à son centre une chappe d'agate ou de cristal de roche destinée à recevoir le pivot sur lequel cette pièce doit librement tourner. Cette lame est relevée à ses deux extrémités à angle droit, et offre là, par conséquent, deux petits plans verticaux que l'on a soin d'échancrer pour recevoir le prisme que l'on veut soumettre à l'épreuve du bâton de résine. Deux boules métalliques, qui tiennent à la plaque par l'intermédiaire de tiges suffisamment longues, sont destinées à faire descendre le centre de gravité de l'appareil et à maintenir la pièce de laiton, et par conséquent le cristal, dans une position horizontale.

La constatation de la pyro-électricité, faite à l'aide de ce petit appareil, est loin de constituer une ressource habituelle pour le minéralogiste praticien ; cependant elle pourrait lui servir à reconnaître quelques minéraux, et surtout la tourmaline.

E. MAGNÉTISME.

On donne ce nom à la faculté qu'ont certains minéraux d'agir

sur un aimant ou d'être affectés par lui dans des circonstances convenables. Le magnétisme n'est donc pas un caractère général, mais bien une propriété particulière qui paraît tenir exclusivement à la présence de quelques métaux et spécialement du fer. Les métaux magnétiques d'une manière très-prononcée sont : le *fer*, le *nickel* et le *cobalt* (1) ; mais le fer est le corps magnétique par excellence, et c'est lui qui communique le magnétisme à presque tous les minéraux composés qui sont doués de cette propriété.

Au moyen d'expériences délicates, plusieurs physiciens, et particulièrement M. Delesse, ont reconnu des indices de magnétisme dans beaucoup de corps naturels ou artificiels ; mais les minéraux capables de faire mouvoir l'aiguille aimantée se réduisent à peu près aux suivants (2) :

MÉTALLIQUES.	PIERREUX.
Géoxène (3).	**Augite.**
Aimant.	**Hornblende.**
Nigrine.	**Hypersthène.**
Leberkise.	**Grenats** (certains)
Oligiste (certains).	**Micas,** idem.
Alumino-silicates de fer, idem.	
Minerais de platine, idem.	
Pyrorthite (à cause du cérium).	

(1) La même propriété a été reconnue encore, mais à un faible degré, dans quelques autres corps, comme le *cérium*, le *chrôme*, le *manganèse*.

(2) Quand nous parlons d'expériences délicates nous supposons que les moyens employés par l'expérimentateur ne sortent pas des limites qu'imposent les habitudes des naturalistes; autrement nous devrions considérer comme magnétiques tous les corps de la nature. En effet, en faisant agir deux aimants d'une très-grande puissance sur des aiguilles extrêmement légères, suspendues en leur milieu par un fil sans torsion, suivant la méthode de Coulomb, on peut influencer une matière quelconque, par attraction ou même par répulsion, phénomène bien extraordinaire et, à coup sûr, inattendu. Ce double fait se manifeste d'une manière bien sensible lorsqu'on emploie un électro-aimant très-énergique, ainsi que l'a fait M. Faraday. Dans ce cas, on remarque que certains corps sont attirés par les pôles de l'aimant et tendent alors à se diriger suivant l'axe magnétique (*para-magnétiques*); tandis que d'autres, à l'égard desquels il y a répulsion, prennent, relativement à cette même ligne, une direction transverse (*dia-magnétique*). Dans le premier cas se trouvent le fer, le nickel, le cobalt, le manganèse, la cassitérite, la tourmaline, le pyroxène. Comme exemple de minéraux de la deuxième catégorie, on peut citer le soufre, le bismuth, l'antimoine, le quartz, le calcaire, le gypse, le zircon, la topaze.

(3) Alliage de fer et de nickel des météorites.

Encore les métalliques, surtout les premiers de la liste, sont-ils les seuls, à peu près, qui agissent assez fortement sur l'aiguille ordinaire. Quelques roches aussi, la plupart volcaniques, peuvent exercer une attraction à cause des minéraux magnétiques qui entrent dans leur constitution. Voici les principales :

VOLCANIQUES.		PLUTONIQUES.
Basalte.		**Serpentine.**
Dolérite.		**Mélaphyre.**
Trachytes (certains).		**Hypérite.**
Laves,	idem.	
Scories,	idem.	

M. Delesse a fait voir que tous les minéraux et toutes les roches qui agissent sur l'aimant étaient susceptibles de prendre des pôles par une aimantation artificielle puissante, et de les conserver plus ou moins longtemps. Dès lors, il n'est pas étonnant que l'action du globe ou l'influence particulière de masses voisines fortement magnétiques, et celle même des actions atmosphériques, aient pu déterminer une polarité dans quelques minéraux riches en fer.

Les *aimants* naturels ne sont autre chose que des fers oxydulés dans lesquels des pôles de cette nature ont pris naissance par l'une ou l'autre de ces causes ou par plusieurs réunies. Cette propriété d'ailleurs n'appartient pas à l'espèce, qui, dans la plupart des cas, ne jouit que du magnétisme simple : elle ne se manifeste d'une manière permanente que dans certaines variétés massives généralement assez impures et subterreuses. On sait aussi depuis longtemps que certains basaltes et des serpentines sont naturellement doués de la polarité magnétique.

Il y a donc à distinguer, dans les minéraux, la simple propriété magnétique du *magnétisme polaire* en vertu duquel ils peuvent jouer le rôle d'aimants. La droite qui joint les pôles doit être considérée comme un axe magnétique. Il peut y avoir plusieurs lignes de ce genre dans une masse minérale et même dans un cristal, et la position de ces lignes n'a rien de fixe : d'où il résulte qu'il n'existe aucune relation entre les pôles magnétiques et les axes cristallins.

On se sert, pour constater la propriété magnétique, en minéralogie, d'une aiguille de boussole très-mobile, sur un pivot placé à l'extrémité d'une tige. La vertu magnétique simple se manifeste par l'attraction que le minéral produit sur l'aiguille à l'une quel-

conque de ses extrémités, attraction qui la détermine à se mouvoir sur son pivot. Pour reconnaître la polarité, il faut présenter successivement au même pôle de l'aiguille les diverses parties du minéral magnétique et voir s'il y a répulsion dans l'une de ces épreuves.

L'action sur l'aiguille aimantée est une propriété assez restreinte. Elle est toutefois fort utile pour faire distinguer les minéraux du genre fer signalés ci-dessus, et notamment le géoxène des aérolites, l'aimant, la nigrine, la leberkise. On peut encore étendre son usage à d'autres minéraux ferrugineux qui n'attirent pas l'aiguille dans leur état ordinaire, mais qui contractent cette propriété lorsqu'on leur fait subir une décomposition partielle par l'action de la chaleur (limonite, pyrite).

F. CHALEUR.

Conductibilité (1). — On peut diviser, sous le rapport de la chaleur, les minéraux en bons et mauvais conducteurs; propriété très-peu importante et que l'on apprécie grossièrement par l'impression plus ou moins vive de froid que les diverses espèces font éprouver lorsqu'on les prend dans la main. (Voyez aux caractères organoleptiques.)

G. CARACTÈRES ORGANOLEPTIQUES.

La plupart des caractères minéralogiques, la forme elle-même, nécessitent, pour être appréciés, l'emploi de l'œil. La vue est donc un sens hors ligne et indispensable en minéralogie, comme, au

(1) La conductibilité, comme la plupart des autres propriétés physiques, est en rapport avec l'état cristallographique des minéraux. Egale partout dans les cristaux du système régulier, elle subit, dans les cristaux appartenant aux autres systèmes, des variations en divers sens qui peuvent être divisées en deux catégories correspondant à celles que l'on a faites en prenant pour base la double réfraction. M. de Sénarmont a établi ce fait par des expériences que nous nous dispenserons de rapporter ici parce qu'elles ne sont susceptibles d'aucune application au point de vue de l'histoire naturelle.

Le même motif nous engage à passer sous silence les recherches de M. Mitscherlich sur la dilatation des cristaux. Nous nous contenterons de dire que ce célèbre chimiste a reconnu, par expérience, que cette propriété subissait de légères variations en rapport avec les axes cristallographiques, ou, mieux encore, avec les axes de double réfraction.

reste, dans toutes les sciences physiques et naturelles. Les autres sens n'ont qu'un emploi restreint dont il est nécessaire de traiter d'une manière spéciale. C'est là le but de ce paragraphe.

Parmi ces caractères, celui qui se rapporte au toucher est peut-être le meilleur et le plus employé. Nous y rapportons les impressions de chaud ou de froid que font éprouver les minéraux en raison de leur conductibilité et celles qui résultent du poids de ces corps sur la main. La saveur, qui met en jeu l'organe du goût, est une propriété plus particulière; mais elle est éminemment utile dans le cas où il s'agit de minéraux solubles, comme les sels. On peut encore tirer un assez bon parti de l'odeur dans quelques circonstances. Quant à l'organe de l'ouïe, son usage est nul en minéralogie.

1. Onctuosité, âpreté. — L'onctuosité est souvent si développée, dans certains minéraux, que l'on croirait, quand on les presse dans la main, tenir un morceau de savon ou un corps graissé ou huilé. Telles sont surtout la stéatite (de στέαρ, *suif*), le talc, la pagodite, minéraux dont la substance admet dans sa composition une quantité notable de magnésie. Le graphite et la molybdénite sont également onctueux, mais à un moindre degré. Cette propriété doit être considérée comme étant assez importante; car elle varie peu dans une même espèce, d'un individu à un autre, et d'ailleurs elle ne se rencontre, à un degré marqué, que dans un petit nombre de minéraux qu'elle peut servir par conséquent à faire reconnaître. Les minéraux *doux* au toucher sont beaucoup plus nombreux, et cette impression qu'ils produisent sur la main, soit par eux-mêmes, soit par leur poussière, tient souvent à un état accidentel et ne peut servir de base à un bon caractère.

L'*âpreté* est encore plus variable, car elle dépend presque toujours d'une structure accidentelle. On conçoit, par exemple, que l'on trouve âpre ou rude au toucher un minéral qui présentera la structure lamellaire, grenue, dendritique, celluleuse, ponceuse... Ce sont ces derniers genres de structure qui communiquent aux produits volcaniques, et notamment aux trachytes (τραχὺς, *rude*), l'âpreté qui souvent les caractérise. Les corps fibreux à fibres courtes, vitreuses et peu cohérentes, laissent se détacher et se briser, par la pression du doigt, les aiguilles dont ils sont composés, et, en pénétrant dans la peau, communiquent à la main une

impression très-caractérisée susceptible aussi d'être rapportée à la même catégorie.

Entre les corps *doux* et les corps *âpres* on peut placer, les *maigres* ou *arides*, qui laissent une impression de *sécheresse* que l'on attribue à l'absorption par capillarité du peu d'humidité dont les doigts sont naturellement enduits par la transpiration insensible. Ces corps sont les mêmes, en général, qui offrent un autre caractère que nous mentionnerons bientôt sous la dénomination de *happement à la langue* (silex nectique, hydrophane terreuse).

2. Impression de chaleur ou de froid. — Presque tous les minéraux sont froids au toucher. Ceux, en très-petit nombre, qui produisent l'effet contraire appartiennent presque tous à la division des organiques (lignite, mellite, succin). La seule circonstance dans laquelle cette épreuve puisse avoir quelque utilité est celle où il y aurait à distinguer de suite certains produits artificiels des minéraux ou des roches qu'ils sont destinés à imiter. Ainsi, en apposant tout simplement la paume de la main à la surface d'une colonne, on reconnaîtra immédiatement, sans même avoir besoin de la regarder, si la matière qui la constitue est le *marbre* ou le *stuc*, ce dernier étant chaud au toucher relativement au marbre. Ce moyen pourra également être employé pour distinguer le *jayet* (lignite compacte) des imitations en verre noir.

3. Impression de pesanteur. — Ce caractère peut être considéré comme organoleptique, puisqu'il consiste réellement en une impression que la main est chargée d'apprécier. Werner divisait, sous ce rapport, les minéraux en cinq catégories, de la manière suivante :

DÉSIGNATIONS.	POIDS SPÉCIFIQUES.	EXEMPLES.
Très-légers......	inférieur à 1	Naphte, silex nectique.
Légers..........	1 à 2	Succin, anthracite.
Médiocrement pesants	2 à 4	Calcaire, quartz.
Pesants.........	4 à 6	Barytine, pyrite.
Très-pesants.....	supérieur à 6	Argent, or, platine.

En général, les organiques sont légers, les pierres sont médiocrement pesantes, et les métaux sont pesants ou très-pesants.

4. Saveur. — Cette propriété ne peut appartenir qu'aux minéraux solubles et peut être employée à les faire reconnaître immédiatement. C'est déjà un très-grand service qu'elle peut rendre ; mais là ne se borne pas son utilité, et avec un peu d'exercice et d'habitude on peut même la faire servir à distinguer, les uns des autres, les différents sels ou acides. Les principaux types de saveur sont :

La saveur **acide** (acide sulfurique).
— **piquante** (salmiac).
— **astringente** (alun).
— **salée** (sel marin).
— **amère** (epsomite).
— **caustique** (natron).
— **fraîche** (nitre).

En employant comme auxiliaire l'action de la chaleur, on peut reculer les limites de ce caractère ; car on parvient, par ce moyen, à communiquer à certains minéraux une saveur qu'ils n'avaient pas immédiatement. Ainsi le calcaire, par l'action du chalumeau, se change en chaux, qui a la saveur caustique, et la barytine contracte, au feu de réduction, une saveur hydro-sulfureuse résultant d'une décomposition partielle qu'éprouve ce minéral.

5. Odeur. — La propriété de donner une certaine odeur, soit immédiatement, soit d'une manière indirecte, est plus générale que la saveur ; aussi trouve-t-on assez souvent l'occasion de s'en servir avec avantage comme caractère distinctif. Parmi les odeurs qu'offre le règne minéral, il faut distinguer les *odeurs propres*, qui dépendent de la nature même du corps, et les *odeurs empruntées* ou *accidentelles,* qui sont dues, en général, à l'interposition de matières étrangères.

Odeurs propres. — Un très-petit nombre de minéraux offrent immédiatement à l'organe de l'odorat une impression bien caractérisée. On peut citer cependant le pétrole, l'acide sulfureux, l'acide chlorhydrique. La plupart exigent, pour que leur odeur propre se développe, une action préalable, qui consiste en une friction, une percussion, l'action de la chaleur et, dans quelques cas, l'insufflation de l'haleine.

Par le frottement et la percussion, le quartz prend une odeur

sui generis, qu'on a appelée *siliceuse ;* une friction exalte les odeurs métalliques (étain, cuivre). Les sulfures et les arséniures laissent reconnaître l'odeur de leur radical par la percussion.

La chaleur est le moyen le plus efficace pour rendre manifeste l'odeur de certains minéraux, et principalement des composés sulfurés, qui laissent dégager alors une portion de leur soufre à l'état d'acide sulfureux, des minéraux arsénicaux, reconnaissables à une odeur d'ail très-prononcée, enfin, des minéraux dans lesquels le sélénium joue le rôle de minéralisateur ; l'odeur que l'on obtient, dans ce dernier cas, est bien caractérisée par sa ressemblance avec celle des choux pourris ou du raifort. Le succin et les bitumes peuvent aussi être disposés, par le moyen de la chaleur, à développer une odeur ambrée ou bitumineuse.

Enfin, les minéraux terreux, au moyen de l'humidité de l'haleine, offrent des odeurs qu'on a désignées d'une manière générale par le nom d'*argileuses*, et dont les nuances, lorsqu'on s'est exercé à les apprécier, peuvent servir à faire distinguer quelques espèces (craie, magnésite, terre de Cologne...).

Odeurs empruntées. — Presque toutes ces odeurs ne se dégagent que par un des moyens que nous venons d'indiquer pour rendre perceptibles ou plus intenses les odeurs propres. Ainsi, la chaleur dévoile l'odeur bitumineuse des houilles et de certains schistes, odeur que ces matières doivent au bitume dont elles sont pénétrées. Une odeur bitumineuse d'une nature particulière, et que l'on nomme souvent *bitumineuse animale*, est offerte par beaucoup de calcaires coquilliers, et surtout par le marbre noir de Belgique, que l'on connaît dans le commerce sous le nom de *petit granite.* On attribue avec raison à la décomposition des mollusques, dont ces calcaires renferment encore les coquilles, cette odeur qu'ils émettent souvent d'une manière très-intense par l'action du marteau. On peut citer encore l'odeur *fétide* des calcaires qu'on a appelés *pierres de porc,* odeur qu'on retrouve dans certains marbres statuaires, comme celui de Saint-Béat, dans les Pyrénées, et même dans plusieurs minéraux ou roches auxquels on attribue une origine ignée (quartz fétide de Bretagne, pyroxènes d'Ala), et enfin l'odeur de *truffe,* si prononcée dans quelques calcaires qui gisent avec des lignites (Provence).

6. Sonorité. — Nous ne mentionnons ici cette propriété que

pour compléter le tableau des impressions sur les sens. Elle n'est d'aucune importance dans la minéralogie proprement dite. Tout au plus pourrait-on l'employer en géognosie pour reconnaître une roche feldspathique tabulaire, qui résonne d'une manière assez prononcée, sous le choc du marteau, pour que M d'Aubuisson lui ait donné le nom de *phonolite*, qui correspond au nom de *klingstein* (pierre de cloche) adopté par les Allemands.

G. HAPPEMENT A LA LANGUE.

Cette propriété dépend de l'attraction capillaire que plusieurs minéraux poreux et terreux exercent sur l'humidité de la langue, à laquelle ils adhèrent quelquefois si fortement, lorsqu'on a appliqué cet organe sur quelques points de leur surface, qu'ils y laissent une partie de leur masse quand on vient à les en séparer. Nous avons déjà dit que cette propriété était en rapport avec la maigreur et la sécheresse que certains corps naturels font éprouver à la main. On connaît cependant quelques minéraux assez doux au toucher qui happent à la langue avec une grande force (certains cacholons ou hydrophanes).

CARACTÈRES CHIMIQUES.

Les caractères secondaires auxquels doit s'appliquer le nom de *chimiques* sont ceux qui entraînent une modification notable dans le minéral à déterminer et même sa destruction. Nous avons réduit les moyens de les mettre en évidence à quelques expériences très-simples empruntées à la chimie, mais qui sont trop utiles et d'un usage trop fréquent en minéralogie pour qu'il nous ait été permis de les passer sous silence.

1. Solubilité dans l'eau. — Ce caractère est lié à la saveur. On sait que les divers sels ne se dissolvent pas aussi facilement dans l'eau ni en aussi grande quantité les uns que les autres. Relativement à la loi que suit la solubilité de chacun d'eux, lorsque la température s'élève d'une manière progressive, il y a, en outre, pour les diverses espèces, de grandes différences. Toutefois, ces moyens de distinguer les sels sont d'autant moins em-

ployés, qu'ils sortent déjà du cercle des expériences minéralogiques. Cette propriété est encore applicable aux gaz et surtout aux gaz acides (acide sulfureux, acide carbonique) ; mais dans tous les autres minéraux elle est à peu près nulle, si ce n'est cependant dans le gypse qui sert d'intermédiaire entre la classe des sels et celle des pierres. Le calcaire et divers autres carbonates haloïdes se laissent encore dissoudre ; mais en quantité extrêmement petite, et les eaux qui donnent lieu à des incrustations et à des concrétions de cette nature doivent cette propriété, qui semblerait indiquer une solubilité assez prononcée de la part des matières qui forment ces dépôts, à une certaine quantité d'acide carbonique qu'elles tiennent en dissolution. A l'aide de sels alcalins et d'une température élevée, l'eau peut encore dissoudre des substances minérales, la silice, par exemple, qui sont insolubles dans les circonstances ordinaires.

La solubilité, jointe à la saveur, suffit pour faire distinguer les sels et les acides de tous les autres minéraux.

Nota. Dans quelques cas on emploie l'alcool comme dissolvant, afin de pouvoir reconnaître certains corps à la couleur qu'ils communiquent à la flamme de ce liquide combustible. L'acide borique ou sassoline donne, dans cette circonstance, une belle couleur verte et les sels de strontiane une couleur pourpre.

2. Déliquescence et efflorescence. — La *déliquescence* se rencontre dans certains sels si solubles que, étant exposés à l'air libre, ils en attirent l'humidité, la condensent, la fixent et s'y dissolvent. Les chlorures de calcium et de magnésium sont remarquables sous ce rapport. Le sel marin est aussi déliquescent, mais seulement jusqu'à un certain degré. On a même beaucoup de peine à le conserver intact dans les collections en temps humides. Il résiste bien dans un lieu sec, ce que ne font pas les deux chlorures que nous avons cités en premier lieu.

L'*efflorescence* est une propriété inverse de la précédente, en vertu de laquelle certains sels perdent une partie de leur eau de cristallisation et tombent en poussière, soit en totalité, soit en partie (natron, glaubérite). La laumonite, qui est un minéral pierreux insoluble, partage avec les sels la faculté de s'effleurir ; elle tombe en poussière à l'air libre quelque temps après avoir été extraite de son gîte. D'après MM. Malagutti et Durocher, cet effet

devrait être attribué à une perte d'eau hygroscopique, et il ne se produirait pas dans un air humide.

3. Action des acides. — Les acides énergiques attaquent et dissolvent, avec des circonstances particulières, des minéraux sur lesquels l'eau n'agirait pas, et les caractères qu'on peut tirer de cette action et de ces circonstances peuvent être très-utiles dans la pratique de la minéralogie. C'est principalement de l'acide *nitrique* ou *azotique* étendu de son volume d'eau que l'on fait usage, parce que, d'une part, il a une assez grande fixité et une énergie suffisante, et qu'ensuite il attaque beaucoup de corps en donnant naissance à des sels solubles. Ceux-ci se dissolvent à mesure qu'ils se forment et se séparent ainsi de la partie du minéral essayé, de manière à la laisser à nu et, par conséquent, dans l'état convenable pour que l'action de l'acide puisse continuer sans obstacle aussi longtemps qu'on le désire. On trouverait le même avantage dans l'acide chlorhydrique liquide; mais ce réactif a l'inconvénient d'être très-volatil et, par suite, très-fumant et très-odorant, à cause de la tendance qu'a le gaz acide à se séparer de sa solution. On conçoit, d'un autre côté, qu'il est important que tous les minéralogistes se servent du même acide (acide normal), afin que les résultats obtenus soient toujours comparables.

Lorsque, après avoir mis un peu d'acide normal dans un verre à pied, on y jette divers minéraux en parcelles, il arrive souvent qu'il ne se produit aucune action. Dans le cas où le corps est attaqué, il subit une dissolution qui peut être accompagnée des circonstances suivantes :

Il y a *effervescence* lorsqu'il se dégage des points du corps en contact avec l'acide, une série de bulles de gaz qui viennent crever à la surface du liquide. A ce signe, on reconnaît les carbonates, et notamment le calcaire et l'aragonite, qui donnent lieu, d'une manière très-prononcée, à la production de ce phénomène. On dit alors qu'il y a *vive effervescence*. D'autres carbonates se dissolvent, au contraire, lentement avec un dégagement peu abondant et tranquille de gaz acide carbonique : telles sont la dolomie et la sidérose; la première espèce a été nommée même par quelques auteurs *chaux carbonatée lente* à cause de cette circonstance. Enfin, pour déterminer l'effervescence dans certaines espèces, il faut chauffer un peu.

Il peut aussi y avoir dissolution sans effervescence avec ou sans dépôt gélatineux. Dans le premier cas se trouve l'apatite (chaux phosphatée). Le second cas est celui de la plupart des pierres dites zéolites, qui sont composées de silicates ordinairement hydratés. On dit alors qu'elles sont solubles *en gelée* dans l'acide, et cette gelée n'est autre chose que la silice qui se trouve mise en liberté (mésotype, stilbite, néphéline). On est souvent obligé ici d'avoir recours à un acide plus énergique et d'agir sous l'influence d'une chaleur modérée (1).

Dans certains cas particuliers, on emploie l'acide sulfurique pour déterminer des réactions que l'acide nitrique ne produirait pas ou ne donnerait que d'une manière peu prononcée, comme pour reconnaître les chlorures, les nitrates et les fluorures. Les premiers sont alors caractérisés par l'odeur de l'acide chlorhydrique qui se dégage ; les seconds, par l'acide nitrique, ou mieux, par des vapeurs rutilantes d'acide hypoazotique, si l'on a ajouté au sel un peu de limaille de cuivre ; enfin, les derniers, par le dégagement de l'acide fluorhydrique, facilement reconnaissable à l'action corrosive qu'il exerce sur le verre.

Observation. — Les résultats de l'action des acides sont plus sûrs et plus précis lorsqu'on les emploie, comme nous venons de le dire, en les mettant en contact avec les minéraux réduits en parcelles ou en poudre dans des verres, ou dans de petits matras ou capsules, s'ils doivent subir l'action de la chaleur. Toutefois, lorsqu'il ne s'agit que de reconnaître si un minéral fait ou non effervescence, si l'échantillon n'est pas bien précieux, et particulièrement lorsqu'on veut essayer, sous ce rapport, certaines roches en voyage, on se contente d'en appliquer une goutte en un point du corps. On a disposé, pour cet usage, de petits flacons à bouchons de cristal allongés en cônes dont le bout plonge constamment dans l'acide ; une petite cloche usée à l'émeri, qui peut

(1) La plupart des pierres non haloïdes, autres que les zéolites, résistent même à ce moyen de dissolution, et l'on serait obligé, pour les rendre solubles dans les acides, avec séparation de la silice, de les calciner préalablement dans un creuset avec de la soude, s'ils ne contiennent pas eux-mêmes d'alcali, et, dans le cas contraire, avec du carbonate de baryte. Il faudrait ensuite traiter la dissolution par divers réactifs. Or, de telles expériences échappent à la compétence du minéralogiste ; elles exigent d'ailleurs, pour être bien exécutées, des soins et un talent tout particuliers qui les rendent difficiles même pour les chimistes qui n'ont pas dirigé de ce côté, d'une manière spéciale, leurs études pratiques.

servir de verre au besoin, s'applique à frottement contre la surface extérieure du goulot, et empêche, jusqu'à un certain point, tout suintement qui pourrait endommager la poche. Nous devons avertir que ce dernier moyen est loin d'être aussi sûr que le premier, qu'il faudra toujours employer autant que possible.

Là se bornent les phénomènes que le minéralogiste doit constater au moyen des acides; mais il peut, en empiétant un peu sur le domaine du chimiste, pousser ses investigations, lorsque les épreuves ordinaires ne suffisent pas, jusque sur les sels eux-mêmes qui résultent de l'action de ces agents. Pour cela, il faut faire évaporer l'acide et reprendre le sel par de l'eau pure. En traitant alors la solution aqueuse par divers réactifs, on obtient des précipités dont les couleurs variées peuvent donner d'utiles indications sur la substance du minéral. Voici les noms des principaux agents à employer et l'indication des résultats qu'ils produisent lorsqu'on les fait réagir sur les dissolutions.

Oxalate d'ammoniaque. — Indique la chaux par un précipité blanc d'oxalate de chaux insoluble.

Ammoniaque. — Précipite l'alumine et le péroxyde de fer : dans le premier cas, le dépôt est blanc et floconneux; dans le second cas, il a une couleur de rouille.

Chlorure de platine. — Accuse la présence de la potasse par un précipité jaune-serin de double chlorure.

Nitrate de baryte. — Précipite en blanc l'acide sulfurique (sulfate de baryte insoluble).

Nitrate d'argent. — Indique les moindres traces d'acide chlorhydrique par un précipité blanc caillebоté de chlorure d'argent qui devient violâtre à l'air.

Sulfate de soude. — Précipite en blanc la baryte et le plomb à l'état de sulfates.

Sulfhydrate d'ammoniaque. — Donne des précipités noirs ou diversement colorés avec les métaux (sulfures métalliques).

Cyano-ferrure de potassium. — Employé surtout pour déceler la présence du fer à l'état de péroxyde; il le précipite en bleu de Prusse.

Lame de fer. — Se recouvre d'une couche mince cuivreuse dans une dissolution qui contient un peu de ce dernier métal.

Lame de cuivre. — Se revêt d'un enduit blanc de mercure ou d'argent dans un liquide tenant une certaine quantité de l'un ou de l'autre de ces métaux.

Ces essais par voie humide peuvent se faire sur des gouttes que

l'on fait réagir en divers points d'une assiette ou d'une soucoupe de faïence ou de porcelaine.

4. Action de la chaleur; chalumeau. — A l'aide de la simple flamme d'une lampe à alcool, on peut faire diverses expériences propres à dévoiler quelques propriétés des minéraux. En les plongeant dans cette source de chaleur, ils pourront éprouver la fusion aqueuse (plusieurs sels), ou la fusion ignée (cryolite, soufre), décrépiter (diaspore), se boursoufler (alun) se réduire en vapeurs (arsenic, mercure). Si l'on a eu soin de les placer dans un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, il y aura lieu de constater des volatilisations ou des sublimations de diverses matières qui se condenseront en partie vers l'autre extrémité, comme de l'eau, du soufre, de l'arsenic. La même expérience, faite dans un tube ouvert, donnera des produits du même genre, mais oxydés (acide sulfureux, acide arsénieux, oxyde d'antimoine). Les acides pourront être reconnus d'une manière générale par une petite bande de papier bleu de tournesol qui, plongée dans le tube, virera, dans ce cas, au rouge.

Lorsqu'on a besoin d'une chaleur plus forte pour agir sur les minéraux, ce qui arrive dans le plus grand nombre des cas, on active le feu d'une lampe ou d'une chandelle par le moyen du *chalumeau.* Ce petit instrument, qui est devenu un si puissant auxiliaire de la minéralogie, n'a été introduit dans la science que depuis un siècle environ (en 1738) par Anton Swab, conseiller des mines de Suède. Auparavant il n'était employé que par les ouvriers en métaux pour chauffer les parties qui devaient subir la soudure. Il consistait simplement alors en un tube métallique ayant la forme d'un cône creux allongé et recourbé vers son sommet, où se trouvait une très-petite ouverture. Le grand orifice ou embouchure était placé dans la bouche de l'opérateur, et le petit tout près de la flamme d'une chandelle ou d'une lampe ; de sorte qu'en soufflant modérément dans le tube, il se produisait, à l'autre bout, un courant d'air très-vif qui brisait et animait la flamme en augmentant beaucoup son pouvoir calorifique.

Depuis que les minéralogistes emploient cet instrument, ils lui ont fait subir plusieurs perfectionnements. Nous ne croyons pas devoir ici décrire toutes les dispositions qui ont été proposées et plus ou moins admises; il nous suffira de faire connaître celle qui

paraît réunir en sa faveur le plus de suffrages et qui est le plus généralement usitée. Elle a été imaginée par Bergmann et perfectionnée par Gahn, savant chimiste suédois, auquel il faut attribuer, au reste, les plus grands progrès qu'ait faits, depuis Anton Swab, l'art du chalumeau.

Le chalumeau de Gahn, qui se trouve ici représenté figure 263, se compose de trois pièces, savoir:

1° Un réservoir cylindrique que M. Beudant conseille de faire en étain;

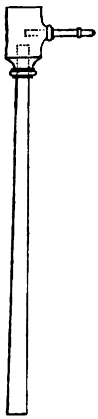


Fig. 263.

2° Un tube conique dont la grande ouverture sert d'embouchure et dont l'autre extrémité s'adapte à frottement dans le réservoir au centre d'une de ses bases;

3° Un petit tube de même forme, qui se réunit également au réservoir, mais en un point de sa surface convexe, de manière à prendre une direction perpendiculaire à celle du grand tube. Ce petit tube est terminé à son extrémité libre, qui est en même temps la plus étroite, par un ajutage en cuivre, ou mieux en platine, percé d'un très-petit trou. C'est cette dernière partie qui est destinée à agir sur la flamme. Le réservoir a pour but de condenser et d'intercepter l'humidité de l'haleine, qui nuirait à l'effet si on la laissait mêlée à l'air sorti des poumons; il sert encore à régulariser et à égaliser la vitesse du courant.

Pour obtenir un courant et par conséquent un effet continu avec le chalumeau, condition nécessaire dans la plupart des expériences, il faut aussi souffler d'une manière continue. Pour y parvenir, il est indispensable de n'employer, pour chasser l'air dans le tube, que la force musculaire des joues, sans y faire concourir la poitrine. A cet effet, on commence, au moyen du gonflement des joues, par s'approvisionner d'air, que l'on économise autant que possible, et que l'on remplace, au fur et à mesure de son écoulement, en respirant par le nez. Ce mode d'insufflation paraît difficile dans l'origine, mais on parvient à le pratiquer avec plus ou moins de succès après quelque temps d'exercice.

On peut se procurer une flamme convenable pour ces épreuves en prenant une lampe alimentée par l'huile, ou une grosse chandelle ou bougie. Une chandelle ordinaire peut servir à la rigueur.

Pour comprendre maintenant le jeu et l'effet du chalumeau, il est nécessaire de se rendre bien compte des propriétés calorifiques des diverses parties de la flamme, qui sont au nombre de quatre.

La première partie est cette petite calotte bleue qu'on remarque à la base de la flamme et qui diminue d'épaisseur en s'éloignant de la mèche pour disparaître entièrement là où la surface extérieure de la flamme s'élève verticalement. Une deuxième partie est offerte par un espace conique un peu obscur, qui occupe la région centrale immédiatement au-dessus de la mèche, et qui est rempli par les gaz émanés du corps éclairant, non encore brûlés parce qu'ils ne sont pas en contact avec l'air atmosphérique. Autour de ce noyau est la partie jaune brillante; c'est celle qui appelle presque exclusivement le regard, lorsqu'on ne cherche pas à analyser la flamme. Enfin, au dehors de cette partie dominante, existe une enveloppe très-légère, peu lumineuse, qu'on ne remarque qu'en regardant avec une certaine attention. C'est dans cette dernière que la combustion des gaz s'achève, et c'est là aussi qu'existe le maximum de chaleur. Toutefois la chaleur des différents points de cette région est elle-même susceptible de plus et de moins, et c'est à la jonction de cette partie extérieure avec la calotte bleue inférieure que se trouve définitivement le lieu du véritable maximum; et cela se conçoit facilement, puisque c'est dans cette circonférence que les gaz échauffés commencent à rencontrer l'air riche encore de tout son oxygène.

Supposons maintenant qu'on applique, derrière et tout près de la flamme, à la hauteur du sommet de la mèche, la partie du chalumeau destinée à communiquer le vent, et qu'on souffle par l'embouchure, on verra alors la flamme se coucher dans la direction du courant, et ses diverses parties prendre une disposition à peu près inverse de la précédente. Ainsi, la partie bleue, qui formait tout à l'heure l'enveloppe extérieure, occupera maintenant, par l'influence prépondérante de l'air introduit dans l'intérieur, la place centrale, sous la forme d'un dard allongé à l'extrémité duquel se trouvera, comme cela avait lieu précédemment sur la circonférence extrême, le maximum de chaleur; mais l'intensité absolue de ce maximum sera ici bien autrement considérable que dans le cas ordinaire, puisqu'il sera donné par un courant vif et continu, et qu'il se trouvera d'ailleurs concentré en un point de toute part enveloppé par le reste de la flamme.

C'est en ce point, c'est-à-dire à la pointe du dard bleu, qu'il faut placer les corps que l'on veut soumettre purement et simplement à l'action d'une chaleur intense pour éprouver leur *fusibilité;* et, s'ils ne sont pas susceptibles de s'oxyder ou de se réduire dans cette circonstance, si l'on opère, par exemple, sur un minéral pierreux, on n'a aucune précaution à prendre. Mais pour d'autres corps, comme les métaux, leurs oxydes et d'autres combinaisons, il n'est pas indifférent de placer la pièce d'essai un peu plus près ou un peu plus loin de l'extrémité de la flamme, et l'on doit faire à cet égard une distinction importante que nous allons signaler.

A la pointe du dard bleu et dans le voisinage, il y a de l'hydrogène et du carbone non encore brûlés, et qui, sous l'influence d'une forte chaleur, jouissent d'un pouvoir réducteur considérable. Cette région constitue ce que l'on nomme le *feu de réduction*, et tout oxyde qu'on y place, s'il est enveloppé de toute part de manière à n'être pas touché par l'air extérieur, tend à s'y réduire et s'y réduit effectivement, dans un grand nombre de cas, en perdant tout ou partie de son oxygène. On donne, au contraire, le nom de *feu d'oxydation* à la partie qui environne la pointe extrême de la flamme considérée dans son ensemble, parce que tout corps oxydable placé hors de la flamme tout près de cette pointe, de manière à être chauffé assez fortement avec le contact de l'air sur la plus grande partie de sa surface, se trouve alors dans des conditions très-favorables pour absorber l'oxygène et passer, par conséquent, à un état d'oxydation plus ou moins élevé.

Cette différence d'action des diverses parties de la flamme modifiée par le chalumeau, offre, comme on le voit, de nouvelles ressources qui peuvent être utilisées avec avantage dans beaucoup de circonstances.

Disons maintenant un mot, pour compléter les notions principales de l'emploi pur et simple du chalumeau, de la disposition à donner à la pièce d'essai et des moyens de la présenter à l'action de la flamme.

Le minéral à essayer doit être réduit à un très-petit volume, afin que la chaleur, très-intense, mais peu volumineuse de la pointe bleue, n'ait pas à se répartir sur une trop grande masse. La forme même de la pièce d'essai n'est pas indifférente ; il est convenable qu'elle soit mince et tranchante comme une esquille, et, dans ce

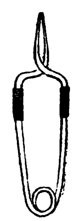
cas, on l'attaque par la tranche plus efficacement que par le plat. Dans certains cas, on réduit le corps en poudre.

Les supports qu'on emploie ordinairement sont : le charbon de bois bien brûlé, les pinces élastiques à bouts de platine, les lames et les fils de platine. Saussure se servait d'un filet de disthène minéral presque infusible. Si l'on veut faire usage du charbon, on taille, sur la section transversale, une petite fossette dans laquelle on met le fragment à essayer ; mais il ne faut pas oublier, quand on emploie ce dernier genre de support, qu'il agit comme réducteur. Il a d'ailleurs l'inconvénient d'absorber, par imbibition, une grande partie du minéral, lorsqu'il y a fusion.

La pince élastique, représentée *fig.* 264, devra être préférée toutes les fois qu'il n'y aura pas de raisons particulières pour adopter un autre support.


Fig. 264.

Elle se compose de deux pinces en acier, séparées, vers le milieu de l'appareil, par une petite partie massive. La pince inférieure est naturellement ouverte comme une brucelle et peut servir au même usage. L'autre pince se compose de deux languettes qui tendent à se serrer par un effet de ressort. Il faut, pour les ouvrir, presser à la fois sur deux boutons, dont chacun traverse librement une languette et est soudé à l'autre. Cette pince élastique est terminée par deux lames en platine très-étroites, entre lesquelles on place la pièce d'essai tout à fait aux extrémités. Nous avons figuré (*fig.* 265) une autre pince élastique, moins avantageuse, mais beaucoup plus simple que la précédente, et qu'on pourra encore employer par raison d'économie. Elle consiste en un gros fil métallique bouclé, aux branches duquel sont liés, par le moyen d'un fil fin de cuivre ou d'argent, deux bouts de gros fil coudés, croisés et terminés en étroites languettes destinées à recevoir et à maintenir la pièce à essayer. La boucle fait ici l'office d'un ressort comme dans la pince à tourmalines.


Fig. 265.

Quand on essaie un minéral au chalumeau, on peut se proposer d'éprouver simplement sa fusibilité ou d'étudier les réactions qu'il présente avec différents fondants ou réactifs.

Dans le premier cas, on le place, à l'aide de la pince élastique, à la pointe bleue du dard intérieur, et l'on examine alors si la

fusion est parfaite, si elle n'a lieu que sur les bords du fragment, si celui-ci est simplement fritté ou enfin s'il est resté intact, auquel cas la fusibilité est nulle par ce moyen. Dans le cas de fusion entière, il faut voir si elle est facile ou difficile, si le résultat est un verre ou un émail incolore ou coloré, s'il est bulleux, cristallin à la surface, s'il ne s'est formé qu'après boursouflement.

Les fondants ou réactifs principaux, ceux qui peuvent suffire dans le plus grand nombre des essais, et qui ont été employés dès l'origine de l'art du chalumeau, circonstance assez remarquable, se réduisent à trois, savoir : le *borax* (borate de soude), le *sel de phosphore* (double phosphate de soude et d'ammoniaque) et le *carbonate de soude.*

Le premier se fond très-facilement par un feu même très-modéré du chalumeau, en donnant un verre limpide que colorent diversement quelques parcelles de différents minerais. Ces couleurs offrent un moyen excellent pour faire reconnaître les métaux qui entrent dans la composition de ces minerais et pour les faire distinguer les uns des autres, lorsque les caractères extérieurs ne suffisent pas. Ainsi, le cobalt est indiqué par un beau bleu, le manganèse par le violet, le chrome par un beau vert particulier, le fer par un vert sale (vert de bouteille). Le borax calciné est le réactif par excellence dans ces cas douteux. La meilleure manière de l'employer consiste à le pulvériser avec une parcelle du corps à essayer et à exposer une petite partie du mélange sur une petite boucle faite à l'extrémité d'un fil de platine. On y parvient facilement en mouillant cette boucle avec de la salive et en la plongeant dans la poussière, dont elle retient alors une partie qu'il est facile de rendre suffisante. On peut encore se servir, par l'intermédiaire des pinces ou du support de charbon, des petites coupelles d'os calcinés imaginées exprès par Lebaillif. Ce dernier mode jouit d'un avantage particulier qui consiste dans la possibilité de conserver le résultat de la réaction, en le collant, par exemple, sur une feuille de carton.

Le sel de phosphore peut s'employer de la même manière, comme fondant; mais on s'en sert plutôt comme réactif. En présence d'une base combinée avec un andride, il laisse dégager de l'ammoniaque et passe à l'état de phosphate acide de soude, qui agit alors, par son excès d'acide, de manière à s'emparer des bases et à mettre l'andride du minéral en liberté. C'est ainsi

qu'avec un silicate, il donne un verre dont la transparence est troublée par un dépôt nuageux qui n'est autre chose que de la silice devenue libre.

Le carbonate de soude agit comme fondant et comme réducteur.

Enfin, dans quelques cas particuliers, on peut encore se servir d'autres corps qui déterminent des réactions spéciales. Ainsi, par exemple, on tire un assez bon parti du nitrate de cobalt pour reconnaître si un minéral renferme de l'alumine ou de la magnésie. Dans le premier cas, une parcelle du corps à essayer, humectée d'une goutte de nitrate et fortement chauffée, prend une couleur bleue prononcée; dans le cas de la magnésie, elle devient rose.

GISEMENT DES MINÉRAUX;

LEURS MODES DE FORMATION.

Il ne peut être question ici que des minéraux susceptibles d'intéresser par des caractères prononcés, et principalement des cristaux et des concrétions. En traitant, au point de vue dont il s'agit, des minéraux en masse, nous tomberions dans le domaine de la géognosie et nous dépasserions, par conséquent, les limites entre lesquelles nous avons toujours cherché à nous maintenir dans tout le cours de cet ouvrage.

Le sujet qui fait l'objet de ce chapitre comprend deux parties, dont nous nous occuperons successivement, savoir :

1° Les modes de gisement, c'est-à-dire les différentes manières d'être des minéraux dans l'écorce terrestre ;

2° Les modes de formation, sujet auquel se rattache naturellement la reproduction synthétique des minéraux.

MODES DE GISEMENT.

Minéraux géognostiques essentiels. — Nous appelons ainsi les minéraux cristallisés ou concrétionnés qui jouent le rôle d'éléments essentiels dans certaines roches, comme l'or-

those, le quartz et le mica dans le granite, l'amphibole dans la syénite, le labrador et le pyroxène dans certaines laves et dans les mélaphyres, le ryacolite dans les trachytes. Les minéraux de cette catégorie sont habituellement cristallisés d'une manière assez imparfaite; mais il est des cas où ils s'offrent, au contraire, avec des formes très-nettes. Tel est l'orthose dans le granite porphyroïde, le ryacolite dans le trachyte de même nom, le quartz dans le porphyre quartzifère, le mica dans quelques granites et pegmatites.

Des minéraux arrondis par concrétion ou par remplissage peuvent aussi jouer un rôle géognostique, comme, les pisolites et les oolites dans le calcaire, et les amandes ou ganglions à noyaux postérieurs ou contemporains dans les roches amygdaloïdes.

Minéraux disséminés. — Ce nom s'applique à des cristaux ou concrétions qui se trouvent çà et là, et d'une manière accessoire ou accidentelle, au milieu de certaines roches, mais qui ne sont pas essentielles à leur existence. Ainsi la tourmaline se présente fréquemment, à l'état de cristaux disséminés, dans la pegmatite, le grenat dans le gneiss et le micaschiste, la pinite dans certains porphyres quartzifères, la staurotide dans les schistes siluriens de la Bretagne, le mica et la couzeranite dans le calcaire, la pyrite dans le schiste argileux et dans le gypse, etc.

Minéraux isolés. — La dissémination trop rare, à de grands intervalles, conduit à un état extrême qu'on peut appeler *isolement*.

Amas. — On désigne par ce nom des masses plus ou moins considérables intercalées au milieu d'un terrain, en général stratifié, dont elles interrompent momentanément les allures et l'homogénéité. Elles peuvent être irrégulières ou offrir grossièrement la forme d'une amande dont la grande section est fréquemment parallèle à la stratification. Il y a des amas qui sont le point de départ d'une foule de veines, principalement de veines métalliques, qui pénètrent, tout autour, au milieu de la roche encaissante en donnant naissance à une espèce de lacis (*stockwerk*).

Les amas sont habituellement le siége d'accidents minéralogiques intéressants.

Il faut distinguer, parmi les amas, ceux qui doivent leur existence à des dépôts, le plus souvent métalliques, qui se sont formés dans les vides de certaines montagnes envahies par des eaux thermo-minérales, comme les amas de minerais ferrugineux et manganésifères de Rancié (Ariége) et des Pyrénées-Orientales.

Petits amas disséminés. — En plaçant les minéraux disséminés ou isolés à la suite des minéraux géognostiques, nous avons supposé qu'ils étaient simplement implantés ou englobés au sein des roches, et qu'ils avaient été formés en même temps qu'elles et par les mêmes moyens. Nous allons parler maintenant des minéraux disséminés on isolés sous forme de petits amas, qui ont une manière d'être spéciale et qui, généralement, doivent leur origine à des causes particulières. Tels sont les *rognons*, les *géodes*, les *amandes*, les *nids*, les *mouches*, qui ont été plus ou moins définis dans le chapitre des configurations.

On appelle *géode* une cavité intérieure tapissée de cristaux, dont les pointes se dirigent habituellement vers la partie centrale, ou de matières minérales concrétionnées (1). Elles peuvent exister immédiatement au sein de la roche, ou dans l'intérieur d'un rognon ou d'une amande (agate tapissée intérieurement d'améthyste).

Les *amandes* ou *noyaux* ne sont autre chose que des rognons, faiblement concrétionnés, affectant la forme du fruit dont ils ont emprunté le nom, et qui sont exempts de ces parties rentrantes et des étranglements que l'on remarque souvent dans les rognons proprement dits.

Le nom de *nid* s'applique particulièrement à de petits amas de minéraux peu consistants et même écailleux ou terreux.

Enfin, on appelle *mouches* de simples taches, souvent cristallines, éparses ou disséminées d'une manière plus ou moins égale, qui communiquent à la cassure une disposition *tachetée* ou *mouchetée*.

Filons. — Les filons sont des masses aplaties, terminées en coin, qui traversent les terrains d'une manière indépendante. Ils coupent, le plus souvent, les plans de stratification sous un cer-

---

(1) Les grottes tapissées de stalactites pourraient être considérées comme de vastes géodes à éléments concrétionnés.

tain angle dont la valeur est variable et peut s'élever jusqu'à 90°. Les roches et minéraux qui constituent les filons appartiennent, en général, à des espèces particulières et n'ont aucun rapport nécessaire avec les terrains traversés.

On considère généralement les filons comme des fentes déterminées par des actions souterraines violentes et remplies par des matières qui venaient de l'intérieur du globe. Les parois de la fente sont les *épontes*. Il existe ordinairement, entre ces parois et le filon, une espèce d'emballage plus ou moins argileux et bréchiforme qui porte le nom de *salbande*.

La plupart des filons forment avec le plan horizontal un certain angle. Dans ce cas, ils sont compris entre deux plans obliques, dont l'un, le plan inférieur, porte le nom de *mur*, et l'autre celui de *toit*. Enfin, le haut du filon s'appelle *tête*. Lorsque cette tête vient se montrer à la surface du sol, elle constitue un *affleurement*.

Il y a lieu de distinguer deux sortes de filons. Ceux de la première sorte ne consistent qu'en un banc rocheux (granite, porphyre, trapp, quartz), plus ou moins épais. Ceux-ci n'intéressent

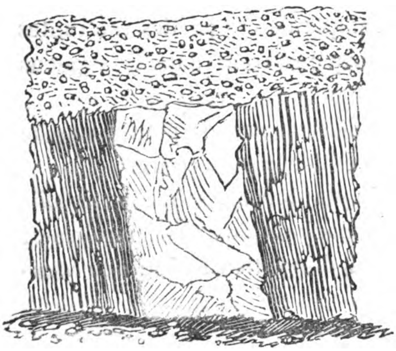


Fig. 266.

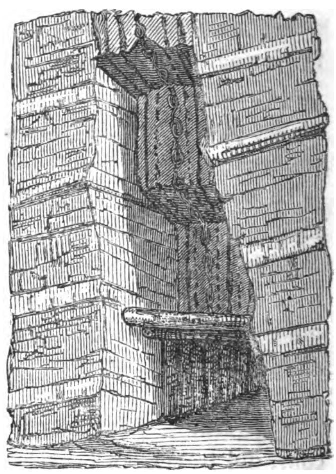


Fig. 267.

que le géologue, à moins qu'on n'y considère particulièrement les cristaux qui se trouvent empâtés dans la roche, ou qui en ta-

pissent les cavités ou géodes. Nous en donnons ici un exemple (*fig.* 266).

Dans la seconde catégorie de filons, dont la figure 267 représente un spécimen, viennent se placer la plupart des gîtes métallifères. Ce sont, comme dans le cas précédent, des fentes où se sont introduites des matières minérales; mais ces matières s'y sont disposées, non en masse et par voie ignée, mais en zones parallèles et symétriques formées à diverses reprises par des actions thermales. Ces filons métallifères apparaissent à l'observateur comme des réceptacles de minéraux cristallisés ou concrétionnés, soit pierreux, soit métalliques, qui s'y trouvent dispersés sous forme de *géodes*, de *druses* (1), de *tapis*, de *veines*, de *mouches*, de *concrétions mamelonnées*. Bien que ces filons soient presque toujours métallifères, les matières pierreuses y dominent et servent de *matrice* ou de *gangue* aux minerais. Les principales de ces matières sont : le quartz, le calcaire, la barytine, la fluorine. On remarquera que les trois dernières appartiennent à l'ordre des haloïdes. Elles se manifestent souvent par la beauté et le volume de leurs cristaux.

L'intérieur d'un filon métallifère doit être considéré comme un laboratoire où la nature s'est plu à manifester la variété et la richesse de ses moyens de production minéralogique. On y trouve des exemples de cristallisation par solution dans les eaux thermales et par sublimation ordinairement indirecte ou par transport et beaucoup de produits concrétionnés. Il a dû aussi s'y exercer une foule d'actions et de réactions moléculaires. On peut regarder ce mode de gisement comme étant le plus riche en espèces cristallisées ou concrétionnées. Les minéraux disséminés dans les filons se représentent souvent à l'état de mouches ou de veinules dans les parties voisines de la roche encaissante.

Veines. — On peut regarder les veines comme des filons en miniature. Elles résultent, dans la plupart des cas, d'un fendillement avec remplissage par une matière minérale qui peut être de même nature que la roche fendillée (marbres veinés) ou d'une nature différente. Dans ce dernier cas se trouvent, par exemple,

---

(1) Le mot *druse*, qui vient d'un mot allemand qui signifie *amande*, n'est guère qu'un double emploi du nom de géode. Nous avons cru devoir l'utiliser pour désigner un tapis formé par des cristaux serrés sur une partie convexe ou saillante.

les veines métalliques pénétrant une gangue pierreuse. Les veines peuvent se courber et se ramifier. Les *veinules* sont des diminutifs des veines.

Gisement arénacé. — Un assez grand nombre de minéraux intéressants, dont les principaux se font remarquer par une dureté ou une densité exceptionnelles, se trouvent libres à la surface du sol au milieu de dépôts d'alluvions anciennes ou modernes composés de sable, de gravier ou de cailloux roulés. Tels sont l'or, le platine, le diamant, le corindon, le spinelle. C'est à ce mode de gisement, qui est réellement le plus habituel pour les espèces que nous venons de citer, que nous appliquons l'épithète d'*arénacé*. Il n'est pas douteux que cette manière de se présenter à l'observateur ne soit adventive ou secondaire, et que les minéraux dont il s'agit n'aient été autrefois disséminés dans des roches en place dont elles auraient été séparées par des causes atmosphériques ou autres. Aussi les trouve-t-on généralement, dans les dépôts meubles où ils ont été entraînés par les eaux, à l'état de grains ou de cristaux arrondis, et ce n'est que par l'effet d'une extrême dureté que quelques-uns, comme le diamant et le saphir, ont pu conserver, dans ces circonstances, des formes cristallines intactes.

MODES DE FORMATION ; REPRODUCTION SYNTHÉTIQUE DES ESPÈCES MINÉRALES.

Sans doute, on ne connaît pas encore le mode de formation de tous les minéraux ; mais ce sujet est un de ceux qui ont le plus occupé, dans ces derniers temps, les minéralogistes et les chimistes qui étudient spécialement le règne minéral, et l'observation d'une part, l'expérience de l'autre, ont mis sur la voie de plusieurs modes que nous allons rapidement indiquer. Ces modes peuvent être distribués dans cinq catégories, savoir :

- **La voie ignée.**
- **La voie aqueuse.**
- **Les actions électro-chimiques.**
- **La thermalité.**
- **Le métamorphisme.**

Voie ignée. — Elle comporte elle-même au moins trois moyens, qui sont :

La voie ignée simple ;
— *aidée par des fondants et par des réactifs ;*
— *par sublimation.*

— *Simple.* On ne peut nier que certains minéraux cristallisés ou concrétionnés n'aient été formés par voie ignée, c'est-à-dire par élection de parties et cristallisation ou concrétion au sein d'une masse chaotique fondue et marchant vers l'état solide par un refroidissement lent. Dans ce cas se trouvent certainement beaucoup de minéraux volcaniques, comme le pyroxène, le péridot, etc. On sait, au reste, que ces espèces minérales, et d'autres encore, ont été rencontrées en cristaux très-déterminables dans des scories et dans des laitiers de forges, et qu'on les obtient assez facilement par voie ignée dans les laboratoires.

On peut rapporter aussi à cette catégorie les cristaux et même certaines concrétions, qui entrent essentiellement dans la constitution des roches (géognostiques), comme le feldspath et le mica dans les granites, les sphères d'albite et d'actinote dans la diorite orbiculaire de Corse. Quant au quartz, on peut avoir des doutes sur son origine, et l'on a même quelque raison de penser que l'eau n'a pas été étrangère à sa formation. En effet, on le voit, lui l'élément infusible, se mouler, dans le granite, sur le feldspath, le mica, la tourmaline, et remplir, sous forme de grumeaux cristallins, les vides laissés entre ces minéraux. Il a donc été solidifié après tous les autres, qui sont tous plus ou moins facilement fusibles, et à une température relativement assez basse, et il est naturel de conjecturer qu'il s'était primitivement séparé, dans le magma granitique, à un état quasi-gélatineux. On sait, d'ailleurs, que la plupart des minéraux qui se trouvent dans les roches granitiques renferment un peu d'eau, et que certains même, comme la chlorite de la protogyne, en contiennent 10 à 12 p. 100 (1).

Le mode de formation dont il s'agit a aussi été employé par la

(1) Une foule de circonstances indiquent, d'ailleurs, que le quartz a dû se former rarement, jamais peut-être, sous la seule influence du feu. D'un autre côté, on a de nombreux exemples de la cristallisation du quartz hyalin par voie aqueuse ou thermale, comme les agates géodiques tapissées intérieurement d'améthyste, et les pointes cristallines de l'intérieur de certains silex. Ceux de la carrière de Couzons (Rhône) sont remarquables par la limpidité des cristaux de quartz et de calcaire qu'ils renferment simultanément dans la même cavité.

nature pour certains filons et typhons (porphyre, mélaphyre, lherzolite, serpentine), où plusieurs minéraux ont cristallisé dans le sein même de la roche ou dans des fissures et géodes.

— *Aidée par des fondants et par des réactifs.* Dans quelques cas, les minéraux cristallisés ont pu se former par le moyen des fondants, comme dans les expériences de M. Ebelmen, dont nous avons déjà parlé (page 44). On se rappelle que ce moyen consiste à faire dissoudre, à l'aide d'une forte chaleur, la substance que l'on veut obtenir à l'état de minéral parfait, dans un fondant qui, dans les expériences de M. Ebelmen, était le plus souvent l'acide borique, mais qui peut être aussi un silicate de soude; le minéral est alors susceptible d'être précipité à l'état de cristal ou au moins de masse cristalline, soit par une simple différence de température, soit par la volatilisation du fondant. M. Ebelmen a obtenu, par ce moyen, les pierres cristallisées les plus dures et les plus infusibles, comme le quartz, le corindon, le spinelle, l'émeraude.

Le même savant est arrivé à reproduire d'autres minéraux naturels, soit pierreux, soit métalliques, à l'aide d'une action chimique qui n'est réellement qu'une double décomposition ignée. Après avoir mis en fusion, à l'aide de fondants, des substances convenablement choisies, il y introduisait un réactif qui les décomposait de manière à donner naissance à un nouveau corps qui se manifestait sous forme cristalline. Ainsi, en mettant un morceau de chaux dans du borate de magnésie fondu, la magnésie se précipitait en octaèdres réguliers diaphanes, qui rappelaient entièrement le minéral vésuvien nommé périclase, où l'analyse n'indique, en effet, que de la magnésie. Le même réactif, plongé dans un bain de silicate de fer, donnait naissance à une poussière de laquelle il était facile de retirer de l'aimant (fer oxydulé) en cristaux bien reconnaissables.

— *Par sublimation.* La sublimation, que nous appelons directe, a certainement contribué à la richesse minéralogique des filons et des amas. On pourrait lui attribuer des incrustations cristallines ou des cristaux dispersés sur certaines surfaces, qui sont constitués par des substances plus ou moins volatiles, comme le soufre, l'arsenic, des sulfures, des arséniures, des fluorures, des chlorures. Il est probable que, dans la plupart des cas, la tendance naturelle de ces matières à se volatiliser a été puissamment favorisée

et aidée par des effluves de vapeurs ou par des courants de gaz. Cette action des gaz et des vapeurs paraît aussi s'être exercée sur des substances assez fixes par elles-mêmes, comme nous le verrons à l'article des actions thermales.

Voie aqueuse. — La voie aqueuse pure et simple ne peut convenir que pour les minéraux solubles, comme les sels. Si elle a produit quelquefois des minéraux insolubles (haloïdes), ce ne peut être que par l'intermédiaire d'un corps étranger dissous ou par double décomposition. C'est ainsi que du chlorure de calcium, mis, à l'état de solution, en contact avec du carbonate de soude également dissous dans l'eau, donne naissance à du carbonate de chaux, qui pourrait se déposer à l'état de cristaux si la réaction se faisait d'une manière très-lente.

Actions électro-chimiques. — Il est permis de penser que la nature a employé ce moyen très-efficace, malgré sa lenteur, de produire des cristaux, surtout pour certains minéraux absolument insolubles. M. Becquerel a presque prouvé qu'il en était ainsi par les expériences si ingénieuses qui lui ont fait obtenir, à l'état cristallisé, des minéraux semblables à ceux de la nature, et qui jusqu'à lui n'avaient jamais été produits artificiellement.

L'appareil dont M. Becquerel s'est servi le plus souvent est des plus simples, car il consiste en un tube recourbé en U, dont le coude est rempli par de l'argile, afin d'empêcher la communication des liquides contenus dans les deux branches. Ceux-ci communiquent seulement par le haut, au moyen d'un arc métallique qui passe d'un tube à l'autre en traversant les bouchons qui ferment hermétiquement les deux orifices. La faible quantité d'électricité qui se produit au contact du fil métallique et des liquides suffit pour déterminer une double décomposition avec transport. En faisant varier les dissolutions, on peut obtenir, par ce procédé, des cristaux également variés. Le sulfure d'argent cristallisé, par exemple, résulte de la réaction de deux liquides, dont l'un contient du nitrate d'argent et l'autre du sulfhydrate de potasse. Les cristaux, tout à fait semblables à ceux qu'offre la nature dans l'argyrose, se déposent, soit au sein de l'argile, soit sur le fil métallique, ou même sur les parois du tube. Ces actions sont très-faibles et ne

donnent un résultat qu'après un temps plus ou moins considérable, comme des mois et même des années.

Les précipités cristallins, que l'on détermine en plongeant et laissant séjourner une lame de métal dans certaines dissolutions métalliques (arbre de Saturne, arbre de Diane), sont des exemples grossiers qui dépendent de cet ordre de choses.

Thermalité. — Nous comprenons, sous le nom de *thermalité,* non-seulement l'action des eaux chaudes employée pour dissoudre et pour faire cristalliser les corps et celle des vapeurs comme moyen de sublimation indirecte, mais encore les réactions chimiques que les substances peuvent exercer les unes sur les autres sous l'empire de ces agents. Ce moyen, souvent combiné avec l'action lente de l'électro-chimie, est sans contredit très-puissant. Il a beaucoup contribué au remplissage des filons, et c'est à lui qu'il faut attribuer la plus grande partie de ces beaux minéraux cristallisés ou concrétionnés qu'on admire dans les collections (1).

La thermalité peut être simple ou être accompagnée de réactions chimiques. Nous allons successivement nous occuper de ces deux cas.

Thermalité simple. — Les eaux *thermales* ou, pour mieux dire, *thermo-minérales,* qui devaient avoir beaucoup d'importance aux anciennes époques, lorsque le refroidissement du globe terrestre était plus ou moins éloigné du degré d'avancement où il est arrivé de nos jours, ont certainement joué un grand rôle dans la formation des minéraux cristallisés ou concrétionnés et des masses cristallines de la classe des pierres et de celle des métaux. En effet, ces eaux, à l'aide d'une chaleur intense et d'une pression assez considérable qui leur permettait de tenir en solution une grande quantité d'acide carbonique, de gaz sulfureux, de soude, étaient alors assez puissantes pour dissoudre beaucoup de substances minérales inattaquables par l'eau ordinaire. Ces substances se dépo-

---

(1) Nous ne pourrons qu'indiquer ici les principaux phénomènes minéralogiques qui se rattachent à cet important sujet dont nous nous sommes beaucoup occupé. Les personnes qui voudraient l'approfondir ne pourraient mieux faire que de recourir à un mémoire de M. Elie de Beaumont, où il est traité d'une manière magistrale. Ce beau travail fait partie du bulletin de la Société géologique de France (t. IV, (bis), 2e série).

saient ensuite, dans des circonstances favorables, en masses plus ou moins cristallines, ou en cristaux et en concrétions. Tout prouve que, à diverses reprises, elles ont circulé dans les filons, où elles ont contribué à produire ces cristaux et ces concrétions variées que nous y avons déjà signalés, et qu'elles y ont déposé même les matières pierreuses qui servent de gangue ou de matrice aux métaux.

C'est à ce moyen de formation qu'il faut aussi rapporter le remplissage des veines de la plupart des marbres (grand antique), le concrétionnement intime que certains de ces marbres manifestent clairement sur les surfaces polies (incarnat de Caunes), et plusieurs modifications et oblitérations qu'ont éprouvées les fossiles dans quelques espèces (griotte, marbre de Campan). C'est à lui encore que l'on doit les dépôts de limonite oolitique, de manganèse oxydé, de calcaire spathique, qu'offrent certaines cavités des terrains de sédiment, et le remplissage de beaucoup de géodes (1) (agate, aragonite, zéolites) (2).

La *sublimation indirecte*, c'est-à-dire le transport, de bas en haut, par l'action mécanique de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et d'autres gaz qui circulaient dans l'intérieur des filons, a dû partout accompagner l'action thermale dans ces riches ateliers de la nature. Quelquefois elle a aidé la sublimation directe, et souvent elle a déterminé des matières, non ou peu susceptibles de se vaporiser, à se porter, à l'état moléculaire, par bouffées ou effluves, de bas en haut, sur des surfaces où elles se refroidissaient et se déposaient de manière à donner naissance à des tapis cristallins, des géodes, des druses.

Par ce moyen dépendant de la voie thermale, on explique beaucoup de faits dont il serait difficile de se rendre compte autrement, comme, par exemple, celui de la présence de revêtements cristallins d'un côté seulement, et presque toujours du côté inférieur, de certains groupes de cristaux de filons. On ne peut guère expliquer d'une autre manière les amas d'aragonite cristalline

(1) La formation de ces minéraux géodiques a pu être influencée et même favorisée par la pression des eaux de la mer.

(2) M. Daubrée a prouvé l'efficacité de ces actions, en ce qui concerne les zéolites, par l'intéressante découverte de plusieurs espèces de cette famille de pierres, dans les débris d'anciennes constructions (bétons et briques) des thermes de Plombières, où elles n'ont pu se former et cristalliser que par imbibition et réaction thermo-minérales.

qui viennent quelquefois se condenser sous le piston des machines à vapeur.

Thermalité avec réactions chimiques. — La thermalité a dû mettre très-souvent en présence, dans l'écorce terrestre, et particulièrement dans les filons, des substances susceptibles de réagir les unes sur les autres, soit à l'état liquide, soit à l'état gazeux, quelquefois même à l'état solide. Les phénomènes chimiques qui se sont opérés ainsi, ont dû être assez variés dans leur genre et dans leurs effets, et sans doute il en est qui nous sont encore inconnus.

Plusieurs savants ont cherché à éclairer par l'expérience cette partie encore peu avancée de l'histoire des gisements, en prenant pour point de départ de leurs travaux l'observation des phénomènes que présentent les eaux thermales et les volcans.

M. de Sénarmont a mis en jeu des doubles décompositions à des températures élevées et sous l'influence d'une forte pression dans des tubes fermés très-épais, et est ainsi parvenu à produire des minéraux cristallisés insolubles et particulièrement des carbonates (calcaire, giobertite, sidérose), des sulfures métalliques (pyrite, stibine), des sulfates (barytine). Pour obtenir le calcaire cristallisé, par exemple, il faisait réagir du chlorure de calcium en dissolution sur du carbonate de soude.

Dans la plupart de ces expériences, le gaz acide carbonique jouait un rôle important, et le savant professeur que nous venons de nommer a reconnu que, dans les circonstances indiquées plus haut, ce gaz était un dissolvant énergique, non-seulement pour les carbonates, mais encore pour d'autres substances parmi lesquelles nous citerons la silice. Ce résultat se trouve parfaitement d'accord avec les observations géologiques qui indiquent souvent l'action corrosive et dissolvante d'eaux thermales acidulées (1), et la formation de dépôts siliceux par voie humide.

C'est encore à la double décomposition qu'ont eu recours MM. Durocher et Daubrée pour la reproduction de minéraux naturels insolubles à l'état cristallisé. Ils se sont servi de tubes ouverts et

(1) C'est certainement à cette cause, par exemple, qu'il faut attribuer la formation, ou, au moins, l'élargissement des grottes et des puits naturels que les massifs calcaires présentent assez fréquemment.

chauffés. Les réactions avaient lieu dans ces tubes entre des substances susceptibles de se décomposer mutuellement et qu'on leur faisait traverser à l'état gazeux. Ces réactions produisaient des corps nouveaux qui prenaient souvent naissance à l'état de cristaux. On peut aussi faire agir de cette manière des gaz sur des liquides et même sur des solides.

A l'aide de ce procédé et en n'employant qu'une température comprise entre 100° et le rouge sombre, M. Durocher a obtenu, sous des formes régulières, une grande partie des minéraux que la nature offre dans les filons métallifères. Tels sont la pyrite, la blende, la stibine, la galène, l'aimant, l'oligiste, la barytine, la sidérose. La plupart des sulfures résultaient, dans ses expériences, de l'action du gaz hydrogène sulfuré sur des chlorures en vapeur.

M. Daubrée est arrivé à des résultats analogues, en faisant réagir, tout simplement, de la vapeur d'eau, dans un tube chauffé au rouge blanc, sur des vapeurs qui renfermaient le radical du minéral qu'il voulait produire, et principalement sur des chlorures métalliques ; la réaction conduisait à un oxyde. Notre savant collègue s'est servi principalement du chlore pour obtenir des métaux à l'état gazeux ; mais il pense que la nature a fréquemment employé le fluor, en se basant sur ce fait bien reconnu que beaucoup de minerais anciens, et particulièrement la cassitérite, sont habituellement accompagnés, dans leurs gîtes, de minéraux fluorés.

Plus récemment, M. H. Sainte-Claire Deville a prouvé la justesse de cette prévision par une suite de belles expériences dans lesquelles il a reproduit avec un plein succès, par la réaction du gaz fluo-silicique, un certain nombre de silicates cristallisés. Ces réactions s'exerçaient à une température élevée, dans un tube de porcelaine où se trouvaient les bases avec lesquelles la silice devait se combiner, comme, par exemple, l'alumine pour l'andalousite, et la zircone pour le zircon. Le même savant a fait également un grand usage du gaz chlorhydrique comme *générateur* ou comme *minéralisateur*, pour me servir de son expression.

En résumé, on voit que la production synthétique des pierres et des minerais naturels, qui a fait dans ces derniers temps beaucoup de progrès, tout en restant infiniment au-dessous de l'œuvre de la nature, est basée, dans presque tous les cas, sur l'action réciproque d'une substance basique et d'un agent actif ou *générateur*,

qui est toujours un de ceux que nous indiquons dans la liste suivante : *Eau, hydrogène sulfuré, acide sulfureux, acide carbonique, acide chlorhydrique, fluorure de silicium, hydrogène.* On remarquera que presque tous ces agents se révèlent à nous et réagissent encore sous nos yeux dans les phénomènes volcaniques et dans les lieux où sourdent des eaux thermales.

Métamorphisme. — Le métamorphisme constitue un ordre de choses nouveau auquel les géologues ont été entraînés par la force des observations. Il consiste dans des transformations de substances et de textures, dans des imbibitions, des cémentations... Quant aux causes de tous ces faits si curieux, elles sont encore assez vaguement connues ; mais on peut, dès à présent, admettre le jeu des affinités moléculaires et des forces électro-chimiques, la cémentation, la chaleur, la thermalité, agissant lentement et pendant des siècles.

Ce moyen complexe de produire des minéraux, souvent cristallisés, est certainement celui que la nature a le plus employé après les actions thermales ; mais c'est en même temps celui que l'on peut le moins étudier par l'expérience, parce qu'il sort des limites entre lesquelles l'homme est forcé de se renfermer. Toutefois les forces électro-chimiques, si heureusement mises en jeu par M. Becquerel, et plusieurs des actions thermales que nous avons indiquées, celle surtout qui se rapporte à la sublimation indirecte, l'effet d'une température élevée, longtemps continuée, sur les parois des fourneaux de l'industrie, la transformation du fer forgé en fer grenu par l'action de la chaleur ; le fait si remarquable de l'intercalation du carbone entre les molécules du fer dans la formation de l'acier de cémentation, peuvent nous fournir quelques points de départ pour la découverte du secret de la nature.

Nous avons dit, en parlant des filons, que souvent l'on trouvait, dans les parties voisines de la roche encaissante, des mouches ou des cristaux de minerais qui remplissent le filon lui-même. Ce mode de gisement peut être regardé comme ayant été produit par cémentation ; il n'est d'ailleurs qu'un cas particulier d'un effet de contact d'une roche ordinaire et d'une roche éruptive qui se manifeste fréquemment dans les montagnes, et particulièrement dans les Pyrénées. En effet, on voit souvent, dans certaines parties de cette chaîne, des calcaires de divers âges lardés de différents mi-

néraux pierreux silicatés ou métalliques au contact des ophites et des lherzolites et des filons d'autre nature. Je citerai le grenat et l'idocrase dans le calcaire de transition du pic d'Arbizon, la couzeranite et la trémolite, dans les calcaires jurassiques traversés par l'ophite et la lherzolite (Saint-Béat, Couledoux, Aulus) et même dans le calcaire crétacé de Pouzac, près Bagnères-de-Bigorre. C'est encore au métamorphisme qu'on rapporte la formation du mica, du talc, des macles, des staurotides, dans les schistes siluriens, quelquefois fossilifères, qui avoisinent les roches granitiques.

Il existe sur le flanc de la Somma, autour du Vésuve, une multitude de blocs de diverses roches, particulièrement de dolomies, rejetés par l'ancien volcan. Les fissures et les cavités de ces roches sont remplies de minéraux cristallisés appartenant à des espèces très-variées, dont l'ensemble constitue une minéralogie toute spéciale qu'on pourrait appeler *vésuvienne*. Il est évident ici que les accidents minéralogiques exceptionnels offerts par ces roches sont liés aux actions volcaniques du Vésuve, et qu'on ne peut avoir recours, pour s'en rendre compte, aux moyens généraux. On est donc naturellement conduit à invoquer le métamorphisme auquel ont dû concourir l'action longtemps prolongée des feux souterrains du volcan, celle de certaines vapeurs qui ont pu pénétrer dans les roches, celle de la cémentation, et enfin les affinités électro-chimiques.

Un des effets du métamorphisme les plus souvent cités est la transformation du calcaire en dolomie ou en gypse. Il est probable qu'ici les vapeurs ont joué un grand rôle en pénétrant à travers tous les pores de la roche préalablement dilatée par une chaleur humide, ainsi que les choses se passent à peu près comme dans les expériences de M. Durocher. Dans le cas de la dolomie, les vapeurs étaient magnésiennes; et dans celui où il y a formation de gypse, elles devaient contenir du gaz sulfhydrique susceptible de se transformer en eau et acide sulfurique. Cet effet a donné naissance à de nombreuses veines ou géodes de dolomie rhomboédrique, et à des gypses cristallins et même cristallisés.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE.